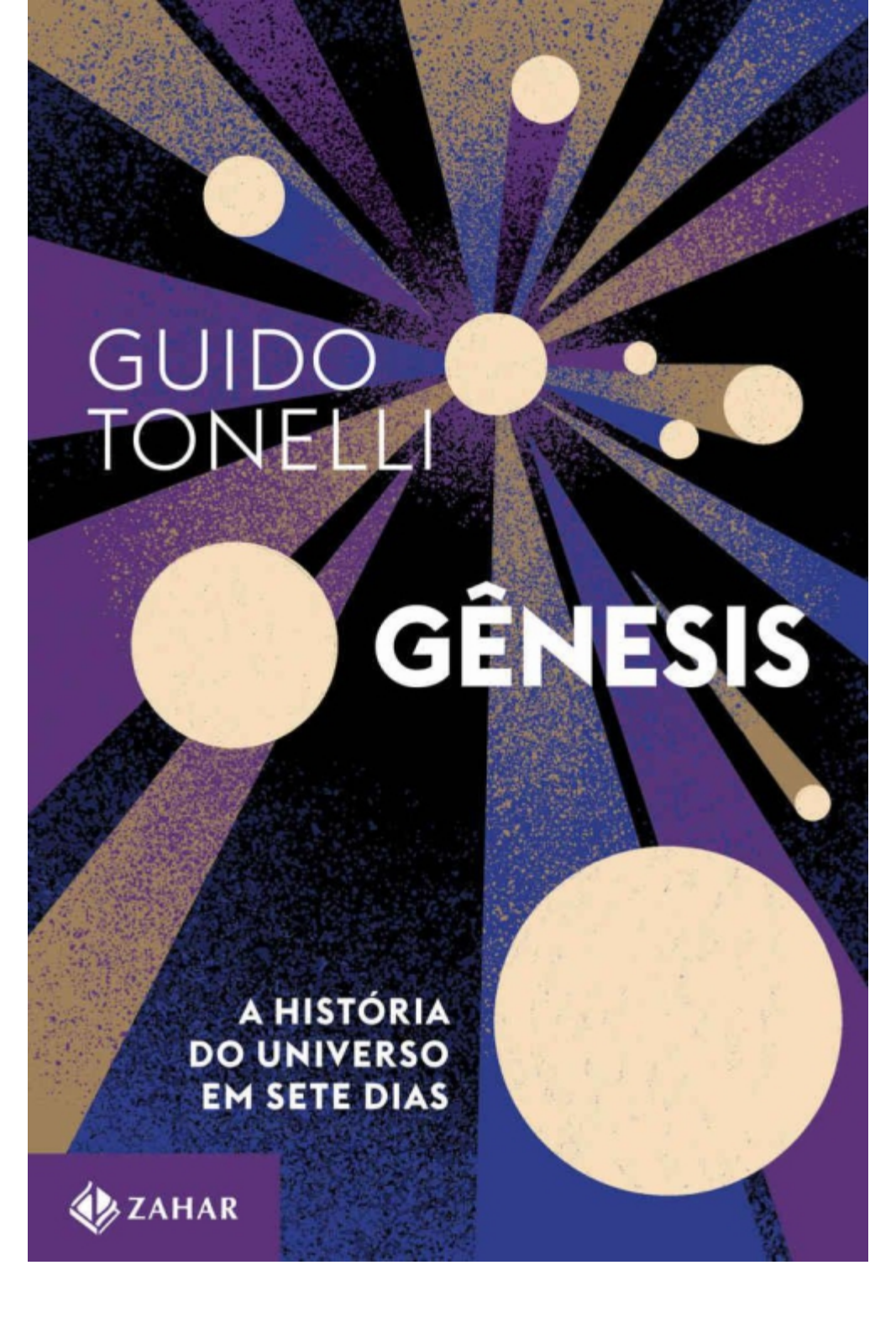


The background of the book cover is a dark, textured field of deep blue and purple. Radiating from a central point are numerous lines in shades of blue, purple, and gold, creating a starburst or nebula effect. Scattered throughout this field are several circular shapes of varying sizes, some in a light cream color and others in a darker, textured blue, resembling planets or distant stars.

GUIDO
TONELLI

GÊNESIS

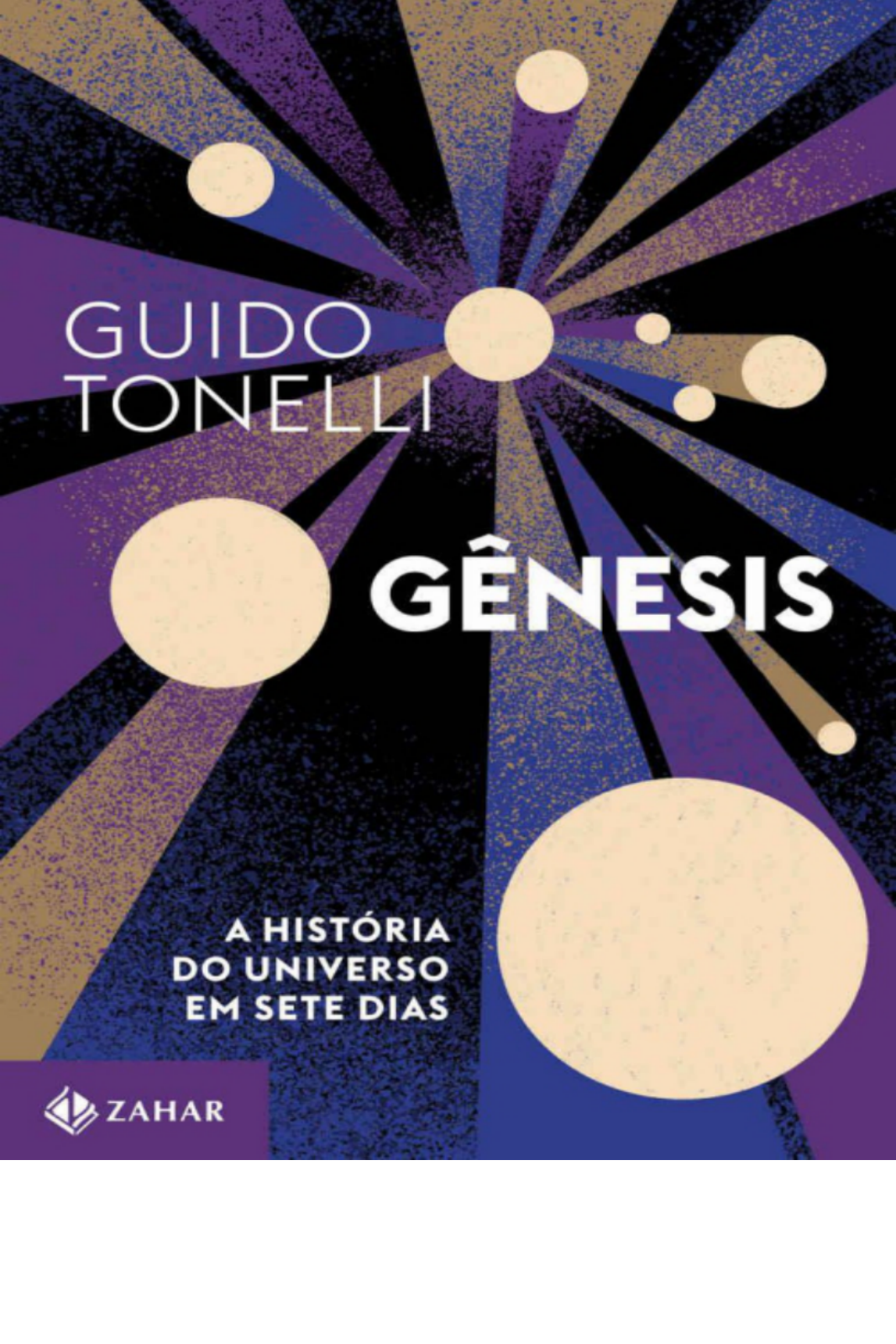
A HISTÓRIA
DO UNIVERSO
EM SETE DIAS



ZAHAR

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM



GUIDO
TONELLI

GÊNESIS

A HISTÓRIA
DO UNIVERSO
EM SETE DIAS

 ZAHAR

Génesis

A lo largo de cuarenta y seis días

Traducción
Pedro G. García
Revisión
Miguel Ángel



Sumário

Capa

Folha de rosto

Sumário

Dedicatória

Epígrafe

Prólogo

Introdução: A grande narrativa das origens

Os mitos fundadores e a ciência

Uma língua complicada

Uma viagem perigosa

As duas vias da sabedoria

Abandonai todo preconceito, ó vós que entraís

No princípio era o vazio

Um universo gigantesco e em expansão

O Big Bang

Um universo que nasce do vazio

Vazio ou nada?

Vazio e caos

Primeiro dia: *Um sopro irrefreável produz a primeira maravilha*

Um estranho campo primordial

Uma expansão irrefreável

O sucesso da teoria inflacionária

Em busca do revólver fumegante

Na era mítica da Grande Unificação

Segundo dia: *O toque delicado de um bóson muda tudo, para sempre*

O encanto de Narciso

A beleza da simetria rompida

A descoberta do bóson de Higgs
Quem rompeu a simetria entre matéria e
antimatéria?
A mais profunda das simetrias
Os aceleradores do futuro

Terceiro dia: *Nascimento dos imortais*

O mais perfeito dos líquidos
Um próton é para sempre
Leves, mas indispensáveis
Os mais tímidos e gentis partem primeiro
Eles formarão o coração das estrelas

Quarto dia: *E finalmente fez-se a luz*

Um mundo sem luz e povoado por entidades
escuras
Soa a hora da matéria
As mensagens secretas escondidas no muro
Uma narrativa muito detalhada

Quinto dia: *A primeira estrela se acende*

Sáímos por ali, a rever estrelas
A era épica das megaestrelas
Um incrível fogo de artifício cósmico
O fascínio das estrelas negras
A singularidade dos buracos negros
Uma fusão que vale ouro

Sexto dia: *E o caos se fantasiou de ordem*

Spira mirabilis
Galáxias, aglomerados e colisões
O coração das trevas da nossa Via Láctea
Não acordem o dragão adormecido
As finas flechas de órion

Sétimo dia: *Um fervilhar de formas complexas*

O Sol e os seus errantes

Ainda bem que Theia nos devastou
O berço da complexidade
Exoplanetas

O que nos torna humanos

A construção do simbólico
No princípio era o Thaumata
Poder da imaginação

Epílogo: O massacre de Nossa Senhora da Assunção

Agradecimentos

Sobre o autor

Créditos

Landmarks

Body Matter

Dedication

Epigraph

Prologue

Introduction

Epilogue

Acknowledgments

Ao pequeno Jacopo

Precisamos de poesia,
desesperadamente.

AUTOR ANÔNIMO, pichação no
muro de uma viela no centro de
Palermo, outubro de 2018

Todas as dores podem ser
suportadas se forem inseridas
numa história, ou se você contar
uma história sobre elas.

ISAK DINESEN

Lançar raízes é talvez a
necessidade mais importante e
menos reconhecida da alma
humana.

SIMONE WEIL

Prólogo

“PROFESSOR, COMO VAI? Posso lhe fazer uma pergunta? Será que entendi direito? Ele ainda está mesmo vazio? Quero dizer, todo o universo que nos rodeia? Inclusive Donald Trump e os acionistas da Fiat Chrysler que estão me deixando louco? Que maravilha. Genial. Eu sempre soube que devia ter estudado física e deixado de lado essas bobagens que me ocupam há quarenta anos.”

Sergio Marchionne está me ligando dos Estados Unidos no fim de sua frenética rotina semanal: um par de dias em Maranello, depois um helicóptero até Turim para pegar um voo para Detroit, encerrar a semana e recomeçar o périplo. Poucas variantes, nada de pausa nem de período de descanso.

Tudo começou em 2016, no final de julho, quando me convidaram para visitar a fábrica da Ferrari para uma entrevista. Para mim, foi uma ocasião para ver pessoalmente aquelas pequenas joias da tecnologia e falar com os jovens técnicos e engenheiros que colocam nos novos modelos o cuidado quase maníaco dos velhos artesãos. A manhã passou voando e já estamos sentados à mesa do restaurante onde Enzo Ferrari costumava almoçar. Por todo lado, fotos do “patriarca” e as relíquias de seus inúmeros triunfos. Enquanto conversamos sobre a Fórmula Um e Ferraris elétricas, chega um telefonema totalmente inesperado: é Sergio Marchionne perguntando se posso dar uma passada em seu escritório para cumprimentá-lo.

Subo até lá na certeza de que vou receber uma rápida saudação de cortesia, mas mal tenho tempo de me sentar e recebo à queima-roupa a menos óbvia das perguntas: “Professor, o senhor acredita em Deus?”.

Com um começo desses, fica claro que não se trata de uma saudação rápida nem formal. Passamos a hora seguinte falando sobre como nasceu o universo, discutindo o que é o vazio, indagando-nos sobre o nascimento e o fim do espaço-tempo. Marchionne acende um cigarro depois do outro, enquanto pede explicações a respeito de tudo. Vejo no seu olhar uma curiosidade sincera e encantamento. “São essas

coisas que eu gostaria de ter estudado quando jovem. Nunca estive à altura de encarar as matérias científicas. Por isso me formei em filosofia. Depois a vida me levou numa direção totalmente diferente”, diz, e começa a me contar sobre a sua adolescência canadense nada simples e sobre as circunstâncias, algumas delas fortuitas, que o levaram a chefiar uma das empresas mais importantes do mundo.

Quando a secretária nos avisa que o motorista que me levará ao aeroporto está bastante nervoso, pois corro o risco de perder o voo de volta, precisamos nos despedir. Antes que eu vá, Marchionne me pede uma dedicatória em *La nascita imperfetta delle cose*, e aviso que depois irei interrogá-lo para ver se leu mesmo o livro. Quando recebo o primeiro telefonema, passadas umas duas semanas, vejo que cumpriu o combinado.

Nasce então uma convivência que me leva de volta a Módena meses depois, por ocasião do encontro anual que a Ferrari organiza com os executivos de seus parceiros mais importantes. Durante o jantar continuamos o nosso jogo de perguntas, dessa vez com a participação dos outros comensais. E passamos a noite falando de buracos negros, de Stephen Hawking e de ondas gravitacionais. Depois, um pouco antes de nos servirem a sobremesa, Marchionne interrompe tudo e me convida a tomar a palavra. Pede que eu narre o nascimento do universo e a descoberta do bóson de Higgs, e que não tenha dó nem piedade: “Pegue pesado, professor. Quero que esses brucutus entendam quais são as coisas realmente importantes no mundo”.

No final da noite, segurando-me pelo braço, Marchionne me diz: “Daqui a uns anos vou me afastar de tudo isso e voltar a estudar física. O senhor me prometa que vai preparar para mim uma listinha de textos sobre mecânica quântica e partículas elementares que me permitam entender melhor as coisas”.

Costumo dizer que as grandes questões tratadas pela física estão dentro de cada um de nós e que essa curiosidade primordial ainda arde em nossa alma. Comprometo-me a lhe enviar a bibliografia, mas não consigo disfarçar um certo ceticismo no olhar. “Professor, acredite, vou mesmo fazer isso.” Nenhum de nós, naquele momento, podia imaginar a rapidez com que esses projetos mudariam.

Introdução

A grande narrativa das origens

QUANDO A SEGUNDA ONDA de *Homo sapiens* chegou da África, há cerca de 40 mil anos, os neandertais já povoavam muitas zonas da Europa. Organizados em pequenos clãs, habitavam cavernas que hoje nos oferecem provas inequívocas de um complexo universo simbólico. Paredes pintadas com símbolos e desenhos de animais, cadáveres sepultados em posição fetal, ossos e grandes estalactites dispostos em círculos rituais. São inúmeros os testemunhos de uma civilização que, com toda probabilidade, possuía uma linguagem sofisticada que jamais conheceremos.

Assim, é possível imaginar uma narrativa das origens do mundo que ressoe já naquelas cavernas, com os velhos transmitindo aos jovens — potência da palavra e magia da memória — os ecos de uma antiquíssima história. Será preciso esperar milhares de gerações antes que Hesíodo, ou quem quer que seja, nos deixe com a *Teogonia* um testemunho escrito dessa narrativa, a primeira a criar uma ligação entre poesia e cosmologia.

Essa narrativa das origens continua até hoje, graças às palavras da ciência. As equações não têm o poder evocativo da linguagem poética, mas os conceitos da cosmologia moderna — o universo que nasce de uma flutuação do vazio ou a inflação cósmica — ainda nos tiram o fôlego.

Tudo nasce de uma pergunta, simples e inelutável: “De onde vem tudo isso?”.

Uma pergunta que ressoa ainda hoje, em todas as latitudes, entre indivíduos das culturas mais diversas, traço comum de civilizações aparentemente muito distantes. Ela é feita por crianças e empresários, cientistas e xamãs, astronautas e os últimos representantes das pequenas populações de caçadores-coletores que sobrevivem, isoladas, em algumas regiões da ilha de Bornéu e da Amazônia.

Uma questão tão primordial que alguns imaginam, inclusive, que

nos foi transmitida pela espécie anterior à nossa.

Os mitos fundadores e a ciência

Para os bacubas do Congo, quem criou o universo foi o grande Mbombo, senhor de um mundo obscuro que vomitou o Sol, a Lua e as estrelas para se livrar de uma terrível dor de barriga; segundo os fulas do Sahel, foi o herói Doondari que transformou uma enorme gota de leite em terra, água, ferro e fogo; para os pigmeus da floresta da África equatorial, tudo nasceu de uma enorme tartaruga que, à medida que ia nadando, deixava seus ovos na água primordial.

Na origem de grande parte das narrativas mitológicas há quase sempre algo de indistinto, que consterna: o caos, as trevas, uma extensão líquida e amorfa, uma grande neblina, uma terra desolada. Até que um ser sobrenatural intervém para dar forma, para trazer ordem. Então surgem o grande réptil, o ovo primordial, o herói ou o criador que separa Céu e Terra, Sol e Lua e dá vida aos animais e aos homens.

A instauração da ordem é uma passagem necessária porque estabelece as regras, lança os alicerces dos ritmos que marcam a vida das comunidades: os ciclos do dia e da noite e a alternância das estações. A desordem primordial remete ao medo ancestral, o pavor de cair presa das forças desencadeadas pela natureza, sejam animais ferozes ou terremotos, secas ou inundações. Mas, quando a natureza é plasmada de modo a seguir as regras ditadas por quem trouxe ordem ao mundo, a frágil comunidade humana pode então sobreviver e se reproduzir. A ordem natural se espelha na ordem social, no conjunto de regras e tabus que definem o que é permitido e o que é absolutamente proibido fazer. Se o grupo, a tribo, o povo inteiro se comportarem segundo as leis estabelecidas por esse pacto primordial, esse muro de normas protegerá a comunidade da desagregação.

Do mito nascerão depois outras construções, que se tornarão religião e filosofia, arte e ciência, disciplinas que se mesclarão e se fertilizarão mutuamente, permitindo que civilizações milenares floresçam. Esse entrelaçamento se rompe a partir do momento em que

as disciplinas científicas vivem um impetuoso desenvolvimento, desproporcional se comparado ao das demais atividades especulativas. E então o ritmo sonolento de sociedades imutáveis por séculos é subitamente rompido pela sucessão de descobertas que modificam a maneira de viver de povos inteiros. De repente tudo muda e continua a mudar, numa velocidade espantosa.

Com o desenvolvimento da ciência nasce a modernidade, as sociedades se tornam dinâmicas e em contínua transformação, os grupos sociais entram em fermentação, as classes dominantes sofrem mudanças profundas, equilíbrios seculares de poder são subvertidos no decorrer de poucas décadas, se não de anos.

Mas as transformações mais profundas não se referem à forma como nos comunicamos ou produzimos riqueza, à nossa maneira de viajar ou de tratar nossas doenças. As mudanças mais radicais sobrevivem no nosso modo de ver o mundo e, portanto, também, de situar a nós mesmos. A narrativa das origens que deriva da ciência moderna logo adquire uma consistência e uma completude com as quais é difícil rivalizar. Nenhuma outra disciplina pode fornecer explicações mais convincentes, verificáveis e congruentes com a infinidade de observações produzidas pelos cientistas.

Embora o cenário em que a humanidade se move perca progressivamente as características mágicas e misteriosas que a acompanharam por milênios, a visão de mundo que se vem desenvolvendo é a mais incrível que se pode imaginar. A ciência narra nossas origens a partir de uma história muito mais imaginativa e poderosa do que as narrativas mitológicas. Pois, para construir essa história, os cientistas sondaram os recessos mais ocultos e minúsculos do real, aventuraram-se a explorar os mundos mais remotos e precisaram enfrentar estados da matéria tão diferentes dos habituais que quase transtornaram suas mentes.

Nascem daqui as mudanças de paradigma que definem uma época e alteram irreversivelmente as nossas relações. É a rápida e incessante sucessão das descobertas científicas que assinala o ritmo desse movimento subterrâneo, como o impulso poderoso de um magma incandescente que deforma a crosta terrestre e, às vezes, a rompe de

maneira irremediável.

A narrativa da ciência sobre a origem do universo já condiciona nossas vidas, modifica em profundidade as bases sobre as quais novos pactos sociais serão construídos, abre cenários inéditos de oportunidades e de riscos, determina o futuro das novas gerações.

Por isso a narrativa das origens feita hoje pela ciência deve ser conhecida, como acontecia nas comunidades da Grécia antiga, em que todos sabiam quais eram os mitos fundadores da própria *polis*. Para isso, porém, é preciso vencer um grande obstáculo: é necessário enfrentar a dificuldade da linguagem científica.

Uma língua complicada

Tudo nasce de um episódio aparentemente secundário, ocorrido quatrocentos e poucos anos atrás, tendo como protagonista um professor pisano de geometria e mecânica da Universidade de Pádua. Galileu Galilei, quando começa a modificar o estranho tubo criado por um óptico holandês para convertê-lo em instrumento de observação dos corpos celestes, nem de longe pode imaginar os problemas que isso lhe acarretará no futuro, muito menos o abalo que as suas observações provocarão no mundo inteiro.

Aquilo que Galileu vê através desse sistema de lentes o deixa sem palavras: a Lua não é aquele corpo celeste perfeito descrito nos textos mais reputados, não é composta de matéria incorruptível, mas tem montanhas, crateras de bordas irregulares e planícies semelhantes às nossas; o Sol tem manchas e gira em seu próprio eixo; a Via Láctea é um amontoado de enormes astros; as “estrelinhas” que cercam Júpiter são satélites parecidos com a Lua, orbitando ao redor dele.

Ao publicar todas essas descobertas no *Sidereus Nuncius*, em 1610, Galileu provoca, talvez inconscientemente, uma avalanche que derrubará um sistema de crenças e valores dominante por mais de mil anos e que ninguém jamais ousara questionar.

Com Galileu nasce a modernidade: o homem se liberta de toda tutela e fica solitário, armado apenas com o seu engenho, diante da grandeza do universo. O cientista não procura mais a verdade nos livros, não se curva ao princípio da autoridade, não repete mais as fórmulas transmitidas pela tradição, mas submete tudo à crítica mais feroz. A ciência se torna uma busca criativa de “verdades provisórias” por meio de “experiências sensatas” e “demonstrações necessárias”.

O poder do método científico reside em utilizar hipóteses verificadas por meio de instrumentos que permitem observar, medir e catalogar os mais díspares fenômenos da natureza. São os resultados dos experimentos, que Galileu chama de “experiências sensatas”, que decidem se uma hipótese funciona ou deve ser abandonada.

A partir das suas observações logo serão encontradas provas irrefutáveis para sustentar as teorias “inacreditáveis” de Copérnico e Kepler, e a visão do mundo mudará tão rápido que nada mais será como antes. A arte, a ética, a religião, a filosofia, a política, tudo, em suma, será subvertido por essa revolução conceitual que colocará o homem, com a sua razão, no centro de tudo. Os abalos que a nova abordagem produzirá, num arco temporal bastante limitado, serão tão profundos que é difícil encontrar precedentes.

A ciência galileana é tão revolucionária porque não se arroga o direito de deter a verdade, mas procura incessantemente a falsificação das suas previsões: entusiasma-se com a ideia de fazer ruir de repente as certezas adquiridas até o momento; corrige-se a si mesma com base em verificações experimentais; por fim, para acentuar as hipóteses cada vez mais complexas que são elaboradas, se lança à exploração dos recessos mais recônditos da matéria e do universo.

Dessa abordagem paciente e consciente nascem novas concepções que abordam fenômenos elusivos e aparentemente marginais. Assim, enquanto se constrói uma visão de mundo cada vez mais completa e sofisticada, acaba-se por dominar nos mínimos detalhes os fenômenos naturais mais remotos, e tecnologias cada vez mais sofisticadas podem ser desenvolvidas.

O preço a pagar para seguir esse caminho é a utilização de instrumentos cada vez mais complexos e de uma linguagem que se desprende cada vez mais do senso comum. Com esse afastamento do ambiente em que se desenrola nossa vida cotidiana, os instrumentos e o aparato conceitual que marcam nossas atividades usuais se tornam plenamente inadequados. Quando exploramos as dimensões minúsculas em que se escondem os segredos da matéria ou os imensos espaços cósmicos que nos relatam a origem do universo, precisamos de equipamentos muito especiais e anos de preparação.

Isso não deve surpreender. Mesmo as explorações mais aventureiras sobre a Terra exigem muito esforço e instrumentos específicos. Pensemos nas regatas extremas, nas escaladas do Himalaia ou nas expedições aos abismos oceânicos. Por que a exploração científica haveria de ser mais simples?

Assim, quem quiser de fato apreciar a física terá de se esforçar por anos, estudar teoria dos grupos e cálculo diferencial, dominar a relatividade e a mecânica quântica, aprender a teoria dos campos. Coisas complicadas, linguagem e conceitos difíceis de dominar mesmo para quem os maneja há anos. Mas a barreira da linguagem especializada, que impede a maioria de entrar no coração pulsante da pesquisa científica moderna, pode ser facilmente removida. É possível usar a linguagem comum para explicar os conceitos de base e, sobretudo, para tornar acessível a todos a nova visão do mundo que está sendo produzida pela ciência.

Uma viagem perigosa

Para entender a origem do nosso universo, é preciso estar disposto a enfrentar uma viagem muito arriscada. O perigo consiste em que temos de levar a nossa mente para lugares tão diferentes dos que nos são habituais que as nossas categorias de praxe se tornam completamente imprestáveis. Assim, somos obrigados a narrar o indizível, a nos representar o inimaginável, enfrentando todos os limites da nossa mente de *Homo sapiens sapiens*, que foi um instrumento poderosíssimo para explorar e colonizar o planeta, mas que se revela inadequado para entender a fundo o que acontece em lugares tão distantes. Como os antigos exploradores, não temos escolha senão apontar a proa para o horizonte, aceitando riscos e incógnitas da navegação num oceano desconhecido.

Contudo, na pesquisa científica, é muito importante também o retorno ao porto de origem. Nisso o pesquisador moderno se parece muito com Ulisses, que sempre sonha, onde quer que esteja, com o momento de chegar a Ítaca. Voltar para casa significa, mesmo que a rota não tenha levado a nenhuma terra nova ou ocorra um terrível naufrágio, que se pode narrar a outros marinheiros os percursos infrutíferos e os bancos de areia a serem evitados.

Pois a ciência moderna é também uma grande aventura coletiva. Temos teorias e mapas que nos guiam, mas muitas vezes o acaso nos leva a locais totalmente desconhecidos; temos “navios” atentos a todos os detalhes, mas basta descuidar de um mínimo pormenor e o desastre se abate sobre nós. A nossa tripulação é uma comunidade colorida e turbulenta de milhares de mentes apaixonadas, exploradores modernos pacientes e curiosos, ágeis como Ulisses quando se trata de inventar estratégias para vencer imprevistos.

Embora as finalidades da nossa pesquisa sejam afetadas por perguntas quase filosóficas (Do que é feita a matéria? Como nasce o universo? Que fim terá o nosso mundo?), o trabalho dos físicos experimentais é uma das atividades mais concretas que se possa

imaginar.

O físico de partículas, um dos 10 mil pesquisadores do mundo que exploram o comportamento dos mais minúsculos fragmentos de matéria, não fica sentado à escrivaninha fazendo cálculos, refletindo sobre teorias, imaginando partículas novas. Um aparato moderno para a física de altas energias tem a altura de um prédio de cinco andares, o peso de um cruzador e dezenas de milhões de sensores. Para construir e pôr em funcionamento esses milagres da tecnologia, são necessárias milhares de pessoas e um trabalho de cuidado obsessivo com os detalhes que pode durar décadas. Para construir novos instrumentos mais refinados do que os anteriores, para lançar “navios” mais ágeis e velozes para que naveguemos, são necessários anos de trabalho para desenvolver protótipos, para fazê-los funcionar e depois para produzi-los em larga escala. E, mesmo quando detectores feitos com o máximo e paciente cuidado são instalados no experimento e funcionam tranquilamente por meses, vive-se sempre com o pavor da catástrofe. Um detalhe negligenciado, um chip defeituoso, um conector frágil, um tubo de resfriamento soldado às pressas podem, a qualquer momento, produzir danos irreparáveis no empreendimento coletivo inteiro. A diferença entre um clamoroso sucesso científico e o pior dos fracassos muitas vezes se esconde num tolo e insignificante detalhe.

As duas vias da sabedoria

Como reunir informações experimentais sobre o nascimento do espaço-tempo? Como os cientistas estudam os primeiros vagidos do universo criança? Aqui entram em jogo os dois caminhos do conhecimento, independentes e distintos entre si.

Por um lado, os físicos de partículas que exploram o infinitamente pequeno. O ponto de partida é que a matéria que nos cerca — que forma rochas e planetas, flores e estrelas, em suma, tudo, inclusive nós — tem características especiais, propriedades que nos parecem comuns, mas que, na verdade, são muito particulares, ligadas ao fato de que o universo é uma estrutura muito velha e muito fria. Os dados mais recentes nos dizem que a “nossa casa” foi construída quase 14 bilhões de anos atrás e que se trata de um ambiente de fato gelado, frio, diria eu, a níveis impossíveis. Para nós, isolados no planeta Terra, tudo parece tépido e confortável, mas, tão logo saímos da camada protetora da atmosfera, o termômetro despenca. Se medirmos a temperatura de um ponto qualquer nos imensos espaços vazios que separam as estrelas ou no espaço intergaláctico, encontraremos valores poucos graus acima do zero absoluto: -270°C . A matéria do universo atual, rarefeito, antiquíssimo e extremamente frio, comporta-se de maneira muito diferente da do universo criança, que era um objeto incandescente e de enorme densidade.

Para entender o que aconteceu naqueles primeiros instantes de vida, é preciso se esforçar, encontrar uma maneira de reconduzir minúsculos fragmentos de matéria atual às altíssimas temperaturas daquelas condições originais. É preciso tentar fazer uma espécie de viagem no tempo.

É o que os aceleradores de partículas fazem. Criando colisões entre prótons ou elétrons de alta energia, utilizamos a equação de Einstein: energia igual a massa vezes a velocidade da luz ao quadrado. Quanto maior a energia da colisão, mais alta será a temperatura obtida e maior a massa das partículas que poderão ser produzidas e estudadas.

Para alcançar as máximas energias são necessários aparatos gigantescos, como o LHC [Grande Colisor de Hádrons], o enorme acelerador do Cern que se estende por 27 quilômetros no subsolo próximo a Genebra.

Assim, aquecendo minúsculas porções de espaço a temperaturas semelhantes às do universo primordial, é possível trazer partículas extintas de volta à vida: as partículas ultramassivas, que povoavam o objeto incandescente dos primeiríssimos instantes e que desapareceram há muito tempo. Graças aos aceleradores, elas ressurgem por um instante do sarcófago gelado em que estão como que hibernando e podemos estudá-las em detalhe. Foi assim que descobrimos o bóson de Higgs. Trouxemos de volta à vida algumas porções depois de um sono que durava 13,8 bilhões de anos. É claro que os tão procurados bósons se desintegraram imediatamente em partículas mais leves, mas deixaram traços característicos nos detectores. As imagens desses decaimentos especiais se acumularam e, no momento em que tivemos certeza de que o sinal se distinguia do fundo e de que as outras possíveis causas de erro estavam sob controle, anunciamos a descoberta ao mundo.

A exploração do infinitamente pequeno, a reconstrução de partículas extintas, o estudo dos estados exóticos da matéria que povoavam o universo primordial é uma das duas vias para entender os primeiros instantes de vida do espaço-tempo. A outra via são os supertelelescópios, grandes instrumentos que exploram o infinitamente grande, que estudam estrelas, galáxias e aglomerados de galáxias, procurando até observar o universo todo. Também nesse caso é utilizada a relação de Einstein, que fixa em c a velocidade da luz, cerca de 300 mil quilômetros por segundo: uma velocidade muito alta, mas não infinita. Assim, quando observamos um objeto muito remoto, galáxias a uma distância de bilhões de anos-luz de nós, elas se mostram não como são agora — é até difícil definir o que quer dizer *agora* —, mas como eram bilhões de anos atrás, isto é, quando emitiram aquela luz que só agora chegou até nós.

Com os supertelelescópios, olhando objetos muito grandes e muito distantes, podemos observar “ao vivo” todas as fases principais da

formação do universo e reunir dados preciosos sobre a nossa história. Desse modo, observando os primeiros tímidos sinais emitidos por milhares de novos astros que florescem no coração de enormes nebulosas gasosas, compreendemos como nascem as estrelas: é possível notar o adensamento de gás e poeira nos anéis de material que orbitam em volta de algum novo astro, indício certo de sistemas protoplanetários em formação. Assim nasceu o nosso Sol e assim se formaram os planetas que o cercam, e é maravilhoso poder ver isso “ao vivo”.

Indo mais além, assistimos à formação das primeiras galáxias, objetos turbulentos que por vezes emitem enormes quantidades de radiação em todos os comprimentos de onda, sinal inequívoco de nascimentos traumáticos. Com os supertelelescópios podemos, enfim, observar a maravilha do universo no seu conjunto e medir algumas de suas propriedades com uma precisão espantosa. A distribuição local da temperatura do universo é uma espécie de memória incrível, que contém traços expressivos do que aconteceu nos primeiríssimos instantes de vida: minúsculas flutuações de temperatura nos falam da nossa história mais remota com uma linguagem que há tempos conseguimos interpretar.

Mas a coisa mais assombrosa é que os dois caminhos do conhecimento, baseados em métodos diferentes e quase estranhos entre si, conduzidos por duas comunidades totalmente independentes, mostram plena coerência: os dados reunidos no mundo das distâncias infinitesimais das partículas elementares e no mundo das enormes distâncias cósmicas convergem inexoravelmente na direção da mesma narrativa das origens.

Abandonai todo preconceito, ó vós que entraís

O discurso científico requer, acima de tudo, abandonar toda forma de preconceito. Os verdadeiros exploradores não têm medo do imprevisto; pelo contrário, mal veem a hora de se descobrirem diante de fenômenos totalmente inesperados. Como os míticos argonautas, que embarcaram em busca do toão de ouro, movem-se tanto pela curiosidade quanto pela recompensa. Não buscam a tranquilidade; pelo contrário, amam o risco.

Quando se empreende uma viagem em direção à origem do mundo como a que estamos para iniciar, os conceitos que guiam a nossa vida cotidiana, como a persistência das coisas, a tranquilidade decorrente da harmonia que vemos ao nosso redor, devem ser pronta e definitivamente abandonados. Não poderemos mais nos referir ao universo usando a palavra cosmo, como fazíamos quando tudo parecia um sistema organizado e regular e o contrapúnhamos ao caos, à desordem relegada aos recantos remotos e insignificantes.

Somos tão condicionados pela nossa vida cotidiana, por aquilo que vemos e experimentamos na fina crosta esférica que habitamos, que achamos natural imaginar que as leis que regulam a nossa existência sejam as mesmas que vigoram em todos os outros pontos do universo. Encantados pela regularidade com que a noite se segue ao dia, pela recorrência dos ciclos lunares e das estações, pela persistência das estrelas que iluminam a abóbada celeste, imaginamos que por toda parte vigoram equilíbrios análogos. Mas não é assim. Pelo contrário.

Estamos aqui há alguns poucos milhões de anos, vivendo existências de duração infinitesimal comparadas à dos ciclos de qualquer processo cósmico relevante; habitamos um tépido planeta rochoso, rico em água, rodeado e protegido por uma atmosfera confortável e por um campo magnético benévolo que, como mantos mágicos, absorvem os raios ultravioleta e nos protegem dos efeitos devastadores dos raios cósmicos e dos enxames de partículas. A nossa estrela-mãe, o Sol, é uma estrela anã e habita uma região muito tranquila e um tanto

periférica da galáxia que nos hospeda. O sistema solar inteiro orbita lentamente, por assim dizer, a 26 mil anos-luz de distância do centro da Via Láctea. Uma distância segura, porque já ali se aninha um monstruoso buraco negro, o Sagittarius A*, um objeto que possui 4 milhões de massas solares, capaz de destruir milhares de estrelas ao seu redor.

Se depois observarmos com atenção os fenômenos que afetam corpos celestes aparentemente estacionários e plácidos como as estrelas, encontraremos objetos incríveis e descobriremos que imensas quantidades de matéria podem se comportar de maneira bastante excêntrica.

É o caso dos pulsares, objetos escuros e compactos que concentram num raio de cerca de dez quilômetros a massa de um ou dois sóis. Trata-se de miríades de nêutrons aprisionados pela gravidade, que os esmaga, comprime e tenta despedaçá-los, enquanto a estrela gira vertiginosamente em torno do próprio eixo, produzindo imensos campos magnéticos.

Isso para não falar dos quasares e blazares, corpos ultramassivos que rugem no centro de algumas galáxias. Buracos negros com massas desproporcionais, até bilhões de vezes maiores do que a do Sol, capazes de engolir as desventuradas estrelas que acabam aprisionadas em seu monstruoso campo gravitacional. Uma dança macabra que se desenrola ao longo de milhões de anos e que podemos observar da Terra porque a matéria que cai no abismo, girando em espiral, se contorce, se desintegra e acaba por emitir jatos altamente energéticos e erupções de raios gama que nossos detectores são capazes de identificar.

Esses estranhos corpos celestes, estrelas de nêutrons e buracos negros, estão na origem das gigantescas catástrofes que parecem ocorrer com frequência em regiões inteiras do “cosmo”. Mas hoje podem ser estudados com grande precisão, a ponto de chegarmos a vê-los entrar em colisão e desarticular o espaço-tempo com ondas gravitacionais que nos alcançam a uma distância de bilhões de anos-luz.

Mas, para entender como sob a aparência do *cosmo* se esconde o

caos, não é preciso olhar tão longe. Basta observar de perto a superfície do Sol. Aquilo que nos parece ser um astro tranquilo, que ilumina placidamente os nossos dias, torna-se, visto de perto, um sistema complexo e caótico, composto de incontáveis explosões termonucleares, movimentos convectivos, oscilações periódicas de massas assustadoras e fluxos de plasma lançados por todo lado por imponentes campos magnéticos. No interior da nossa estrela está em ação um choque de forças titânicas, uma batalha que se prolonga por inúmeros anos, com um vencedor anunciado: a gravidade. E daqui a alguns bilhões de anos, quando o combustível nuclear se esgotar, ela enfim conseguirá despedaçar e esmagar as camadas internas, levando nossa estrela ao colapso. O núcleo central será comprimido, enquanto as camadas mais externas começarão a se expandir até alcançar Mercúrio, Vênus e a Terra, fazendo com que se evaporem no mesmo instante.

Isso porque sistemas intensamente caóticos, vistos de longe, podem parecer ordenados e regulares. E o mesmo acontece no outro extremo das observações, no mundo do infinitamente pequeno.

Se observamos bem de perto a mais brilhante e polida das superfícies, logo nos deparamos com a dança caótica dos componentes elementares da matéria que flutuam, oscilam, interagem e mudam de natureza num ritmo frenético. Quarks e glúons, que compõem prótons e nêutrons, mudam de estado o tempo todo, interagindo entre si e com miríades de partículas virtuais que os rodeiam. A matéria no plano microscópico segue implacavelmente as leis da mecânica quântica, dominadas por leis probabilísticas e pelo princípio da incerteza. Nada fica parado, tudo ferve numa extraordinária variedade cambiante de estados e possibilidades.

Mas, quando observamos grandes números dessas partículas, quando as estruturas se tornam macroscópicas, os mecanismos que regulam a sua dinâmica adquirem, quase magicamente, regularidade, persistência, ordem e equilíbrio. A sobreposição de um número espantoso de fenômenos microscópicos casuais, que se desenvolvem em todas as direções possíveis, produz estados macroscópicos ordenados e persistentes.

Talvez seja o caso de utilizar um conceito novo para descrever esse dado que parece realmente estrutural: *caos cósmico* poderia ser o oxímoro correto para relacionar as duas entidades que se perseguem e brincam de esconde-esconde no universo. É o jogo que vemos quando investigamos os recantos mais diminutos do mundo das partículas elementares, mas que também está em curso quando observamos o que acontece no coração das estrelas ou de estruturas gigantescas, como as galáxias ou os aglomerados de galáxias.

Para entender o nascimento do universo, teremos de abandonar, junto com muitos outros, o preconceito da ordem. Enfrentaremos uma viagem guiada apenas pela imaginação, que recorrerá a conceitos tão audaciosos que a narrativa de ficção científica mais fantasiosa parecerá banal em comparação. Nesta viagem, seremos apresentados a teorias que estão mudando nossa visão de mundo para sempre e, ao final, descobriremos que nós mesmos mudamos em relação ao que éramos no início.

Apertem os cintos, vamos partir.

No princípio era o vazio

NO PRINCÍPIO ERA O VAZIO: pronto, é isso, respondemos desde já à pergunta mais difícil de todas: o que havia antes do Big Bang.

A rigor, a questão estaria mal colocada. Como veremos a seguir, o espaço-tempo entra em cena junto com a massa-energia; assim, não há um *antes*, não existe um relógio que marque a hora *de fora* do universo que ainda está por nascer. Mas, no plano da narrativa, podemos ignorar essa dificuldade lógica e ir direto aos fatos.

Aceitamos o paradoxo de nos perguntar o que havia *antes* que nascesse o tempo, imaginamos estar no *não lugar* de onde teria se originado todo o espaço; fantasiamos, nós, seres materiais que precisamos de ar para respirar e de luz para enxergar, que já estamos presentes ali, quando ainda não há o menor traço de matéria nem de energia, esperando para testemunhar o nascimento de tudo e poder vê-lo com os nossos olhos.

Diante de nós se estende o vazio, um sistema físico muito peculiar que, apesar do nome enganoso, é tudo menos vazio. As leis da física o enchem de partículas virtuais que aparecem e desaparecem em ritmo alucinado, lotam-no de campos de energia cujos valores próximos do zero flutuam continuamente. Qualquer um pode pegar energia emprestada no grande banco do vazio e viver uma existência tão mais efêmera quanto maior for a dívida contraída.

Desse sistema, dessas flutuações, pode nascer um universo material que, na verdade, ainda é apenas um vazio, mas um vazio que sofreu uma maravilhosa metamorfose.

Um universo gigantesco e em expansão

Hoje é difícil deixarmos de sorrir diante das imagens ingênuas que os melhores cientistas de diferentes épocas produziram antes de terem telescópios modernos à disposição.

A palavra “universo” contém as raízes latinas de *unus*, um, e *versus*, particípio passado de *vertere*, virar, girar. É utilizada como sinônimo de todo, embora o significado literal seja “o que gira como uma coisa só”, ou seja, contém um resquício das antigas crenças segundo as quais havia um sistema estável e ordenado de corpos em rotação. Esse preconceito junta as antigas concepções de Aristóteles e Ptolomeu aos modelos mais modernos de Copérnico e Kepler.

O universo geocêntrico e o heliocêntrico são absolutamente diferentes do ponto de vista conceitual. Por quase 2 mil anos, sábios de todo o planeta se entregaram a cálculos e disputas intermináveis sobre o movimento das maravilhosas esferas concêntricas que abrigavam a Lua, o Sol, os planetas e as estrelas fixas. Depois, de repente, essa visão do mundo desmoronou.

Retirar a Terra do centro da criação não foi um detalhe. Para a sociedade seiscentista, acarretou um tremendo choque cultural, filosófico e religioso. A partir de então, o mundo não foi mais o mesmo. Mas, se olharmos de uma certa distância, os dois sistemas, aparentemente tão inconciliáveis a ponto de se derramar sangue em seu nome, têm uma estrutura muito parecida. Ambos descrevem um universo imutável, estacionário, uma máquina perfeita que garante uma harmoniosa e perene rotação. Tanto faz se é “o amor que move o Sol e as outras estrelas” ou a força gravitacional de Galileu e Newton que o faz funcionar, a substância não muda.

Esse preconceito de um universo eterno e imutável, perfeito e, portanto, igual a si mesmo *ab initio*, chega quase até os nossos dias. É surpreendente encontrá-lo, no começo do século XX, até mesmo nas primeiras formulações da cosmologia relativista.

Em 1917, Albert Einstein, ao desenvolver as consequências da sua

teoria da relatividade geral, postula um universo homogêneo, estático, curvado espacialmente. Massa e energia deformam o espaço-tempo e tenderiam a fazê-lo colapsar em algum ponto, mas, se acrescentarmos à equação um termo positivo que compense a tendência à contração, o sistema permanece em equilíbrio. O início da cosmologia moderna nasce com esse desvio. Para evitar o fim catastrófico do universo, que se produziria devido à gravidade por si só, inventou-se um termo arbitrário. Einstein, a fim de manter o preconceito de estabilidade e persistência vigente durante milênios e do qual ele mesmo era visivelmente prisioneiro, introduz à força aquilo que chamamos de “constante cosmológica”, uma espécie de energia do vazio, positiva, que tende a impulsionar tudo em direção ao exterior e que assim se oporia à atração gravitacional, garantindo o caráter estacionário de tudo.

Hoje, quando sabemos que o universo é composto de centenas de bilhões de galáxias, é surpreendente constatar que, no início dos anos 1920, os cientistas da época, entre eles alguns dos intelectos mais brilhantes de todos os tempos, ainda pensavam que tudo era constituído apenas pela Via Láctea. O lento movimento concêntrico dos corpos dessa galáxia podia sugerir, portanto, a ideia de um universo como sistema estacionário, harmonioso e ordenado. Logo novas observações voltarão a pôr tudo isso em discussão, mas a ruptura radical com as velhas concepções será antecipada pela genial intuição de um jovem cientista belga.

Em 1927, o padre católico Georges Lemaître, então com 33 anos, formado em astronomia em Cambridge, está completando seu doutorado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). O jovem cientista está entre os primeiros a entender que as equações de Einstein podem descrever também um universo dinâmico, um sistema de massa constante, mas em expansão, isto é, cujo raio aumenta com o tempo. Quando apresenta sua ideia ao influente colega mais velho, o comentário de Einstein é terrível: “Os seus cálculos estão corretos, mas a sua física é abominável”. O preconceito milenar de conceber o universo como um sistema estacionário está tão entranhado que até a mente mais elástica e imaginativa da época rejeita a ideia de que ele

possa se expandir e, portanto, de que o todo tenha tido um início.

Serão necessários anos de discussões e embates ferrenhos até que essa novidade extraordinária se afirme entre os cientistas; e levará ainda mais tempo para que ela se torne pública. A chave do sucesso é sugerida pelo próprio Lemaître, que, no artigo em que expõe sua nova teoria, cita a medida da velocidade radial das nebulosas extragalácticas.

Naqueles anos, a atenção dos astrônomos estava concentrada nesses estranhos objetos, semelhantes a nuvens, que se imaginava serem grupos de estrelas reunidos em aglomerados de poeira ou gás. Hoje sabemos que são galáxias, cada qual contendo bilhões de estrelas, mas os telescópios da época não eram capazes de distinguir muitos detalhes.

Para calcular a velocidade com que se move uma estrela ou um corpo luminoso genérico, os astrônomos empregavam o *efeito Doppler*. O mesmo fenômeno que podemos experimentar com as ondas acústicas emitidas pela sirene de uma ambulância se aplica às ondas luminosas. Quando a fonte se afasta, a frequência das ondas que recebemos se reduz: o som da sirene se torna mais grave, assim como a cor da luz visível segue na direção do vermelho. Analisando o espectro de frequências luminosas emitidas pelos vários corpos celestes, pode-se medir em cada um deles esse deslocamento em direção ao vermelho, o *redshift*, precisamente, e obter a velocidade radial com que estão se afastando.

Mas não era fácil medir a distância dessas formações e, assim, entender se estavam ou não dentro da nossa galáxia. A solução foi encontrada por Edwin Hubble, um jovem astrônomo que trabalhava no Observatório de Mount Wilson, na Califórnia, equipado na época com o telescópio mais potente do mundo.

A técnica em uso se valia das cefeidas, estrelas pulsantes de luminosidade variável. Poucos anos antes de Hubble iniciar seu trabalho, Henrietta Swan Leavitt, uma das primeiras astrônomas americanas, que deu uma enorme contribuição a esse campo de pesquisa, havia morrido — mas, como ocorre com frequência nesses casos, sem receber o devido reconhecimento. De fato, no início do

século XX, era praticamente impensável que uma mulher utilizasse um telescópio, e as raríssimas jovens cientistas eram alocadas em atividades auxiliares. A Leavitt coube o papel secundário e mal remunerado de computador humano: sua tarefa consistia em examinar, uma a uma, milhares de chapas fotográficas contendo imagens capturadas pelos telescópios e anotar características de estrelas e objetos celestes. Em particular, era sua função medir e catalogar a luminosidade aparente das estrelas.

A jovem astrônoma concentrou seus estudos nas estrelas de luminosidade variável pertencentes à Pequena Nuvem de Magalhães, nebulosa que, na época, acreditava-se fazer parte da nossa galáxia. A observação genial de Leavitt foi que as estrelas mais luminosas eram também as que tinham o período de pulsação mais longo. Uma vez estabelecida essa correlação, era possível obter uma estimativa da luminosidade absoluta de uma estrela, o que permitiria medir sua distância. A luminosidade de um objeto varia com o inverso do quadrado da distância do observador; portanto, conhecendo a intensidade luminosa absoluta da amostra, basta medir a luminosidade aparente para obter sua distância.

Leavitt mediu a relação entre a luminosidade e o período de pulsação das cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães e, formulando a hipótese de que as estrelas se encontravam grosso modo à mesma distância, pôde construir a escala de luminosidade intrínseca a partir da aparente registrada nas chapas.

Graças à incrível intuição de uma jovem e genial astrônoma, surgiram as *velas padrão*, isto é, fontes luminosas de intensidade conhecida por meio das quais era possível obter uma medida absoluta de distância. Foi o que fez Hubble, que utilizou as cefeidas da nebulosa de Andrômeda para concluir que esses corpos celestes estavam distantes demais para fazer parte da nossa Via Láctea.

Lemaître conhecia as primeiras mensurações feitas por Hubble, que não só colocavam essas nebulosas fora da nossa galáxia, mas atribuíam a elas impressionantes velocidades de afastamento. Sua teoria do universo em expansão permitia explicar essas novas observações, desde que se aceitasse a ideia de que era um sistema

enorme, monstruosamente maior do que se pensava até então. Uma gigantesca estrutura em que estão presentes inumeráveis galáxias semelhantes à nossa, em que tudo se afasta de tudo.

Depois de a humanidade posicionar a Terra no centro do universo durante milênios e aceitar com relutância que nosso planeta é apenas um entre os vários que giram em torno do Sol, de repente cai também a última ilusão. O sistema solar e a nossa querida Via Láctea não ocupam nenhuma posição especial. Somos um componente insignificante de uma galáxia anônima, uma entre as miríades que povoam o universo. Como se não bastasse, o sistema inteiro evolui no tempo: como todas as coisas materiais, ele teve um início e, provavelmente, também terá um fim.

O Big Bang

A intuição de Lemaître, confirmada pelas medições de Hubble, lançará as bases da nova visão do mundo. Em seu artigo original, em francês, o padre astrônomo chegou a prever uma relação de estrita proporcionalidade entre distância e velocidade de distanciamento dos objetos astronômicos. Se sua ideia do universo em expansão estivesse certa, as galáxias mais distantes deveriam se afastar de nós a uma velocidade mais elevada, isto é, mostrariam um *redshift* maior. E foi precisamente este o resultado que obteve Hubble, à medida que seu catálogo de observações se enriquecia. Mas a intuição de Lemaître foi por muito tempo ignorada, porque a revista belga em que publicou seu artigo não tinha grande difusão. Por isso, até muito pouco tempo atrás, o mundo científico chamava essa correlação de “lei de Hubble”. Graças a um paciente trabalho de reconstrução, foi enfim reconhecida a contribuição do cientista belga. Foram necessários quase cem anos para que isso acontecesse, mas hoje a relação que permitiu estabelecer a natureza dinâmica do universo se chama, apropriadamente, “lei de Hubble-Lemaître”.

No início dos anos 1930, diante da grande quantidade de observações experimentais, Einstein acabará por abandonar seu ceticismo inicial. Reza a lenda que, ao admitir com relutância que o padre belga e o astrônomo americano tinham razão, o grande cientista lamentou não ter compreendido isso antes: “A constante cosmológica foi o maior erro de avaliação que cometi na minha vida”.

Partindo de um estado inicial em rápida expansão, não havia necessidade de introduzir essa correção *ad hoc*, que de fato desapareceu por muitas décadas da equação fundamental da cosmologia. Por ironia do destino, a situação voltará a se inverter na segunda metade do século XX, quando, com a descoberta da energia escura, o termo que tanto atormentou seu criador precisou ser reintroduzido.

O primeiro a levantar a hipótese de que a expansão do universo

poderia, na verdade, se acelerar foi ainda Lemaître, que, não por acaso, manteve a constante cosmológica de Einstein na equação, ainda que com um valor muito pequeno. Lemaître descrevia o nascimento do universo como um processo ocorrido entre 10 e 20 bilhões de anos atrás, a partir de um estado inicial a que chamou de *átomo primordial*. Sua hipótese aproximava as teorias científicas mais avançadas das numerosas narrativas mitológicas em que tudo se originava de uma espécie de ovo cósmico, mas foi a primeira a estabelecer a ligação entre microcosmo e macrocosmo que se revelará extremamente fecunda nas décadas seguintes.

Desde que foi formulada, a nova teoria despertou grande perplexidade. A opinião pública mundial andava muito ocupada com outras coisas: a grande crise de 1929, o surgimento do fascismo e do nazismo na Europa e os inúmeros sinais de que o mundo inteiro estava mergulhando em outro conflito mundial. Mas, mesmo nos ambientes científicos, havia um ceticismo muito grande diante da nova hipótese. Não poucos cientistas importantes se negavam a aceitar a própria ideia de um *início* do espaço-tempo, de um *nascimento* do universo. Aquilo guardava uma maldita semelhança com o Gênesis bíblico, com o conceito de criação propugnado por várias religiões. Como se não bastasse, o primeiro a sustentar a nova teoria tinha sido um cientista-padre, ainda por cima católico apostólico romano.

A ideia de um universo eterno, de um estado estacionário incriado e perene, sustentada em primeiro lugar por Aristóteles, ainda fascinava muitos cientistas. Um dos mais conhecidos era Fred Hoyle, um astrônomo britânico que considerava simplesmente repugnante a teoria proposta por Lemaître e se manteve convicto das suas ideias até sua morte, em 2001. Foi ele o primeiro, numa transmissão radiofônica da BBC em 1949,* a cunhar a expressão, a seus olhos depreciativa, “teoria do Big Bang”. Por ironia do destino, a imagem de um *grande bum*, palavra que, nas intenção de Hoyle, serviria para ridicularizar essa teoria cosmológica, acabou por se embrenhar tanto no imaginário coletivo que contribuiu notavelmente para o seu sucesso.

Um dos opositores mais aferrados foi a União Soviética. Os cientistas soviéticos passaram décadas tachando o Big Bang de teoria

pseudocientífica e idealista, que especulava sobre uma espécie de criação semelhante demais à descrita pela religião para não despertar suspeitas. Para eles, não importava que Lemaître sempre tivesse separado o âmbito da ciência e o âmbito da fé, a ponto de reagir horrorizado quando Pio XII, em 1951, não resistiu à tentação de se referir ao Big Bang descrito pelos cientistas como o momento bíblico da criação. Era a tentativa do papa de propagandear uma espécie de validação científica do criacionismo para reforçar as bases racionais da fé, que Lemaître contestou com vigor.

O que determinou o sucesso definitivo da teoria do Big Bang foram, mais uma vez, os resultados experimentais. Entre os desenvolvimentos teóricos da nova hipótese cosmológica, por volta dos anos 1950, estava a previsão de uma radiação difundida no universo todo, ondas fósseis, resíduo do momento em que os fótons haviam se separado irreversivelmente da matéria para continuar a flutuar por toda parte ao nosso redor. Ondas eletromagnéticas muito fracas, distendidas por bilhões de anos de expansão do espaço-tempo, uma energia sutil que daria ao vazio interestelar uma temperatura de alguns Kelvin.

A grande descoberta foi feita quase por acaso, em 1964, pelos astrônomos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson. Os dois tinham passado semanas penando para consertar uma antena que desejavam usar para observações radioastrômicas na faixa das micro-ondas, mas não conseguiam eliminar um incômodo sinal que parecia vir de todas as direções. De início, eles imaginaram que a interferência tivesse a ver com alguma estação de rádio operando nos arredores do laboratório; em seguida, pensaram em distúrbios eletromagnéticos ligados a atividades variadas em Nova York, não muito distante; depois de se certificarem de que a ocorrência não se relacionava nem mesmo com o casal de pombos que construíra um ninho na antena, revestindo uma parte do aparato com material dielétrico esbranquiçado, mais prosaicamente conhecido como cocô de pombo, renderam-se e publicaram seus resultados numa breve carta. A descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, provinda de todas as direções, e a observação de que o universo tinha uma temperatura de poucos Kelvin, isto é, em torno de -270°C ,

assinalavam o sucesso já indiscutível da nova teoria. Penzias e Wilson haviam registrado o eco do Big Bang, a mãe de todas as catástrofes, o evento primigênio, prova de que tudo se iniciara 13,8 bilhões de anos atrás.

Um universo que nasce do vazio

Na verdade, mesmo nos seus anos de maior sucesso, quando já ingressara na linguagem popular e era citado em programas de tevê e em gibis infantis, continuavam a circular dúvidas entre os cientistas sobre o Big Bang.

Embora medições cada vez mais acuradas da radiação cósmica de fundo acrescentassem ao quebra-cabeça peças cada vez mais convincentes, faltava solucionar uma questão de fundo. Em resumo, a teoria tradicional do Big Bang ocultava um problema gigantesco: se o universo nasceu de um ponto com uma concentração monstruosa de energia e massa, um sistema extremamente denso e quente que se expande de maneira desenfreada, que fenômeno físico tinha sido capaz de concentrar toda essa maravilha naquele ponto? Trata-se, em alguns aspectos, da mesma pergunta que Italo Calvino menciona jocosamente em seu breve conto “Tudo num ponto”, de *As cosmicômicas*: “Cada ponto de cada um de nós coincidia com cada ponto de cada um dos outros em um único ponto, aquele onde todos estávamos”. Uma sugestão análoga, anos antes, inspirara Jorge Luis Borges na escrita de seu belíssimo “O Aleph”. O conto toma seu título emprestado da primeira letra do alfabeto hebraico, que indica também o número primordial que contém todos os outros, para falar sobre uma pequena e misteriosa esfera na qual se podia ver o universo inteiro.

Em suma, sob a superfície de uma teoria já afirmada ocultava-se uma tremenda pergunta: qual mecanismo podia levar a essa condição tão excepcional, um ponto adimensional, de densidade e curvatura infinitas, isto é, o que os físicos chamam de *uma singularidade*?

Em princípio, podia haver uma solução simples, elegante. As mesmas equações que descreviam uma expansão contrabalançada pela atração gravitacional podiam ser utilizadas para o processo inverso, ou seja, uma contração irrefreável que levaria inelutavelmente ao Big Crunch, a grande implosão.

Sob certas condições, a expansão do universo pode ser desacelerada pela atração gravitacional que envolve matéria e energia, e até anulá-la completamente para, depois, dar origem a uma nova fase de contração. Nesse caso, haveria um aumento lento, mas inexorável, da concentração das galáxias no interior dos aglomerados, e em todas as partes, em todos os cantos do universo, tanto a densidade quanto a temperatura média da matéria aumentariam. E assim tudo acabaria por levar a novas e enormes concentrações de buracos negros, radiação e matéria ionizada que não poderiam senão colapsar de maneira catastrófica numa região de dimensões cada vez menores, virtualmente puntiforme. E aí estaria a singularidade que daria origem a um outro Big Bang, do qual nasceria um novo universo, elo de uma cadeia infinita de eventos de expansão e contração. A respiração de uma imensa sanfona que constrói as suas diversas melodias sobre ciclos temporais de dezenas de bilhões de anos.

A hipótese de estender ao universo material esse ciclo de vida, morte e renascimento, sem início nem fim, remeteria a alguns conceitos presentes em muitas filosofias orientais. O próprio universo estaria submetido ao Samsara, a roda da existência que aprisiona os seres vivos nessa série de inumeráveis reencarnações. Uma solução simétrica e elegante que teria o mérito de resolver com leveza a aparente violação da conservação da energia: quem concentrou todo o universo na singularidade?

Essa via se manteve aberta por algumas décadas, mas perdeu consistência quando astrônomos e astrofísicos conseguiram obter medições mais precisas da velocidade de afastamento das galáxias e da radiação cósmica de fundo, com novos resultados que levaram ao surgimento da cosmologia de precisão.

Há tempos sabemos que as estrelas nos contam a sua história com uma linguagem muito mais rica e articulada do que se imaginava. Logo os mais potentes telescópios ópticos ganharam a companhia de gigantescas parabólicas voltadas para o espaço mais profundo, monstruosas orelhas levantadas para ouvir sinais de rádio vindos de estrelas desconhecidas ou emitidos por galáxias distantes: a radioastronomia. Por meio dela foram descobertas famílias inteiras de

novas fontes, objetos misteriosos que emitem sinais de rádio característicos e para os quais são escolhidos nomes exóticos, como *pulsar* ou *quasar*. Serão necessárias décadas de pesquisas para entender que, por trás de alguns desses fenômenos, estão novos estados de agregação da matéria: a força de gravidade que ruge no centro dos corpos celestes mais massivos fragmenta a matéria nos seus mais minúsculos componentes, produzindo as colossais densidades das estrelas de nêutrons ou dos buracos negros.

A evidência de que o cosmo nos inunda com fótons de todos os comprimentos de onda, das dezenas de metros das ondas de rádio às distâncias subatômicas das explosões de raios gama mais energéticas, levou os cientistas a construir aparatos cada vez mais sofisticados, instalados na Terra ou lançados na órbita terrestre, capazes de registrar todo o espectro das ondas eletromagnéticas. Mapas cada vez mais precisos do cosmo e das suas incontáveis fontes de radiação em todas as frequências foram elaborados. A impressionante quantidade de medições permitiu estudar o universo no seu conjunto como um sistema físico capaz de ser submetido a investigação e responder às perguntas típicas dessas situações: quanta energia total ele possui? E quanto valem a quantidade de movimento, o momento angular e a carga total?

À medida que os dados se tornam cada vez mais precisos e os erros das medições se reduzem, o quadro resultante apresenta aspectos surpreendentes. Os dados nos dizem que a expansão do universo não vai parar; nada nos indica que ele irá reverter seu curso para voltar ao Big Crunch. A densidade média do universo não é suficiente para exceder o valor crítico além do qual a gravidade dominaria. É preciso, portanto, abandonar a atraente ideia de um universo cíclico, e assim voltamos a ter o problema de explicar a singularidade inicial.

Mas então, de forma totalmente inesperada, surge uma solução ainda mais elegante: o universo está extremamente próximo da condição de total homogeneidade e isotropia. A incrível uniformidade da radiação cósmica de fundo nos diz que o universo não tem uma curvatura considerável; a distribuição angular dessa radiação nos diz que o espaço segue as leis da geometria euclidiana: um raio luminoso

que atravessa uma região do universo não perturbada por massa e energia viaja em linha reta. É o que se chama de universo plano, de curvatura zero. E como a distribuição de massa e a distribuição de energia do universo estão intrinsecamente correlacionadas com a curvatura do espaço e a sua geometria, segundo as leis estabelecidas pela relatividade geral, pode-se chegar à assombrosa conclusão de que um universo plano como o nosso é um sistema com energia total nula.

Em outras palavras, a energia positiva devida à massa e à energia presentes no universo e a energia negativa devida ao campo gravitacional se anulam. Se alguém fosse calcular a energia total do sistema universo, precisaria começar transformando a massa de todas as estrelas da nossa galáxia em energia e multiplicando o resultado pelos 100 bilhões de galáxias; a seguir, teria de acrescentar a energia escura e a devida à matéria escura, de que falaremos melhor mais adiante; e, por fim, precisaria transformar em energia todas as formas de matéria e de radiação que vagam pelo universo: gás intergaláctico e fótons, neutrinos e raios cósmicos, prosseguindo até chegar às ondas gravitacionais. Esse cálculo certamente daria como resultado um número positivo enorme.

Agora, armados de paciência, teríamos de considerar a contribuição do campo gravitacional, que é uma contribuição negativa, à energia total. A força de atração entre dois corpos, sejam eles a Terra e o Sol ou duas galáxias distantes, produz um sistema ligado, isto é, os dois corpos ficam presos num sistema de energia potencial negativa; para libertar um dos dois componentes, é preciso fornecer energia positiva, em geral cinética, ou seja, acelerar um dos dois corpos até fazê-lo alcançar a velocidade de fuga, o valor que permitiria chegar a distâncias potencialmente infinitas, retirando definitivamente a atração gravitacional do parceiro. É o que acontece quando queremos lançar um satélite de exploração nos confins do sistema solar.

Como a gravidade age sobre toda a distribuição de massa e energia do universo, o número negativo que se obtém do conjunto dos estados ligados é, ele também, gigantesco.

Agora falta apenas subtrair um número do outro, ambos monstruosamente grandes, e o resultado é estarrecedor: compatível

com zero. Em suma, a energia total do sistema universo é a mesma do sistema vazio.

Tudo isso não pode ser mera coincidência. Tanto mais que algo semelhante acontece para a carga total do universo, para o seu impulso e para o momento angular. Todos rigorosamente compatíveis com zero. Resumindo, o universo tem energia nula, quantidade de movimento nula, momento angular nulo, carga elétrica nula: características que o fazem semelhante ao estado de vazio. Nesse ponto, os cientistas se rendem: “Parece um pato, anda como um pato, grasna como um pato: para nós, é um pato”.

Em suma, os dados de observação mais sofisticados e completos reunidos até agora nos dizem de maneira coerente que o mistério da origem do universo se oculta na hipótese mais simples, que, entre outras coisas, resolve de uma vez a questão que parecia fazer vacilar a hipótese do Big Bang. Num universo com energia total nula, não é preciso nenhum estranho mecanismo que concentre na singularidade inicial enormes quantidades de matéria e de energia, pois no ponto havia energia nula, e o sistema que surgiu dele e que nós chamamos de universo ainda tem energia nula. O físico e cosmólogo Alan Guth, um dos primeiros defensores dessa teoria, a define como o mais belo exemplo de um enorme *almoço grátis* fornecido pelo vazio quântico.

Que o universo inteiro venha do vazio, ou, melhor dizendo, ainda seja simplesmente um estado de vazio que sofreu uma metamorfose, parece ser a hipótese mais convincente da cosmologia moderna; ou, pelo menos, a que melhor coincide com a série de incontáveis observações até agora reunidas.

Vazio ou nada?

Mas o que é o vazio? Muitos identificam o vazio com o nada. Erradíssimo. O nada é um conceito filosófico, uma abstração, aquele oposto irreduzível do ser que ninguém soube definir melhor do que Parmênides: “O ser é, e não é possível que não seja, o não ser não é, e é necessário que não seja”.

O nada-vazio remete a medos ancestrais, como o pesadelo comum e recorrente de cair num poço sem fundo; a vacuidade é sinônimo de valor negativo: uma alma vazia, um discurso vazio. A associação do conceito de vazio ao nada nasce também devido à relação inevitável, para quem pertence à cultura ocidental, entre a teoria cosmológica de um universo que nasce do vazio e o conceito judaico-cristão da criação do mundo *ex nihilo*, do nada. Na verdade, como veremos a seguir, são conceitos quase opostos; o vazio como sistema físico é, sob alguns aspectos, o contrário do nada.

O conceito de vazio tem, porém, muitos pontos de contato com o zero. O termo vem do latim *zephirum*, que aparece pela primeira vez no Ocidente em 1202. É assim que o grande matemático Leonardo Fibonacci, num escrito, traduz para o latim o algarismo árabe *sifr*, que significa justamente zero ou vazio, visto que no equivalente latino ressoa o mito grego de Zéfiro, o vento leve que anuncia a primavera.

Em árabe, fora mantido o sentido original do termo que indicava o número zero, introduzido pelos indianos, que o chamavam *sunya*, isto é, *vazio*. A mesma raiz se encontra na Sunyata, ou “doutrina da vacuidade”, conceito fundamental do budismo tibetano, segundo o qual todos os corpos materiais são, na verdade, privados de uma existência própria e independente.

Foram os indianos os primeiros a introduzir o conceito de zero-vazio. A expressão aparece pela primeira vez numa obra escrita em sânscrito no ano de 458. O título é *Lokavibhaga*, cujo significado literal é “As partes do universo”, e é curioso que seja um tratado de cosmologia, como se estabelecesse, desde o início, uma conexão entre

o conceito de vazio e o nascimento do universo.

Isso não deve surpreender, em vista do papel que o vazio ocupa na cosmogonia indiana e nos mitos da criação. Shiva é o deus criador e ao mesmo tempo destruidor do universo. Quando dança, toda a Terra treme e o universo inteiro se esfarela, ardendo sob o passo do ritmo divino. Tudo se dissolve até se concentrar no *bindu*, o ponto metafísico fora do espaço e do tempo cujo símbolo colorido é usado na testa por muitas mulheres hindus. Depois o ponto também se dissolve lentamente e tudo se dissipa no vazio cósmico. O ciclo recomeça quando Shiva decide criar um novo universo e volta a dançar. Mais uma vez o ritmo divino produz vibrações cada vez mais amplas do vazio, que acaba por se inflar espasmodicamente, dando origem a um novo universo que toma o seu lugar no ciclo infinito das criações e destruições.

Essa familiaridade dos indianos com o conceito de vazio nos permite entender melhor por que foram eles, em primeiro lugar, que conferiram ao zero a propriedade de número para todos os efeitos e, inspirando-se no sistema posicional já adotado pelos babilônios, decretaram a sua glória definitiva.

Era exatamente o contrário dos gregos, para os quais zero e infinito eram conceitos terríveis que, desafiando a lógica, ameaçavam a ordem constituída. O ideal de perfeição, o ser parmenidiano, era representado como uma esfera, sempre igual a si mesma no espaço e no tempo e, acima de tudo, finita. Finito é, para os gregos, sinônimo de perfeição, enquanto a própria ideia de zero equivale a um anátema. Como poderia o *nada* ser *algo*? Não por acaso o zero evoca o caos primordial: é o número que, multiplicado por qualquer número, em vez de aumentar, anula o valor, arrastando-o para o precipício. As coisas não melhoram quando se tenta dividir por zero: também nesse caso se produz um absurdo lógico, o infinito, o ilimitado, a informe grandeza sem limites. Tal como o vazio, o infinito, indissolivelmente ligado ao zero, também era horripilante para os gregos. Os conceitos que desafiavam a lógica e perturbavam a mente dos filósofos eram julgados inapropriados, até perigosos: podiam semear o pânico e provocar a desordem social.

Por isso a cultura ocidental criou uma espécie de tabu em torno do zero, que depois se estendeu ao vazio. Para entender o mecanismo pelo qual um universo pode nascer do vazio, precisamos nos libertar desse preconceito, que ainda condiciona o nosso modo de pensar.

O vazio de que falamos não é um conceito filosófico, é um determinado sistema *material*, aquele em que matéria e energia são nulas. É um estado de energia nula, mas é um sistema físico como todos os outros, que se pode investigar, medir, caracterizar.

São inumeráveis os experimentos sobre o vazio que os físicos realizam há anos. Usam-se aparatos experimentais sofisticados para estudar as suas estranhas propriedades, com o objetivo de entender detalhadamente como o estado de vazio influencia algumas grandezas características das partículas elementares. Alguns até creem descobrir no vazio novos fenômenos que, uma vez dominados, poderiam levar a novas tecnologias.

Como em todos os sistemas físicos, para o vazio também vale o princípio da incerteza que regula o comportamento dos sistemas em escala microscópica. Não é possível medir simultaneamente a energia e o tempo próprio de um sistema qualquer, inclusive o estado de vazio, com uma precisão satisfatória: o produto das suas incertezas não pode ficar abaixo de um certo valor mínimo. Quando dizemos que o vazio tem energia nula, isso significa que, ao realizar um número muito elevado de medições, obtém-se zero como valor médio dos resultados; as medições dão valores flutuantes, positivos ou negativos, diferentes de zero, que se distribuem numa curva estatística de valor médio nulo. O princípio da incerteza nos diz que, quanto menor o intervalo de tempo em que se efetua a medição, maiores são as flutuações de energia que dele resultam.

Na verdade, essa característica não decorre da perturbação que se realiza durante a medição, mas é algo mais profundo, ligado ao comportamento da matéria em escala microscópica. O estado de vazio tem energia rigorosamente nula quando observado numa escala de tempos muito longos, em teoria infinita, mas em tempos muito breves ele flutua como todas as coisas, atravessando todos os estados possíveis, inclusive aqueles, pouco prováveis, caracterizados por

energia significativamente diferente de zero. Em suma, o princípio da incerteza permite a formação temporária no vazio de microscópicas bolhas de energia, desde que elas desapareçam rápido. Quanto menor é a energia envolvida, por mais tempo a bolha anômala resistirá.

Se imaginarmos, portanto, o comportamento do vazio em escala microscópica, não devemos pensar em algo tedioso, estático, sempre igual a si mesmo. Pelo contrário, a trama sutil do vazio fervilha com uma miríade de flutuações microscópicas. As que envolvem mais energia logo retornarão às suas fileiras, mas, se a energia tomada em empréstimo é nula, podem durar para sempre.

A coisa se complica ainda mais quando consideramos a presença de matéria e antimatéria. As flutuações quânticas do vazio podem assumir a forma de uma geração espontânea de duplas partícula/antipartícula. O vazio, portanto, pode ser visto como uma jazida inesgotável de matéria e antimatéria. É possível se aproveitar da incerteza decorrente do princípio da incerteza e coletar um elétron do vazio; se ele é logo devolvido ao seu lugar, ninguém se dá conta. A operação equivale a coletar um elétron e um pósitron juntos. Aqui é preciso tomar muito cuidado, porque a regra de conservação da carga não admite exceções, sendo muito mais rígida do que a conservação da energia. Não posso extrair um elétron sozinho, pois nesse caso isso mudaria as características do estado de vazio inteiro, que ficaria carregado positivamente. Preciso sempre extrair também um pósitron, o elétron positivo, de tal modo que o balanço de carga do sistema fique empatado. Em suma, basta extrair do vazio igual quantidade de matéria e antimatéria e o vazio não protestará. Resta o problema da energia da dupla partícula/antipartícula: quanto menor a massa da dupla, maior o tempo de saída livre que ela tem à disposição. Encerrado o recreio, o princípio da incerteza toca o sinal e os dois “alunos” voltam disciplinadamente às suas classes.

Esse mecanismo não é um princípio de física que vigora em abstrato, mas um processo material que se verifica cotidianamente nos aceleradores de partículas. Percutindo o vazio com a energia dos feixes em colisão, produzem-se novas partículas, tão mais massivas quanto mais elevada é a energia da colisão. Assim se extraem do vazio

grandes quantidades de partícula, e para as finalidades mais díspares: desde isótopos radioativos usados como marcadores na medicina nuclear aos bósons de Higgs produzidos no LHC.

O vazio é coisa viva, substância dinâmica e incessantemente mutável, repleta de potencialidades e de opostos. Não é o nada; é, pelo contrário, um sistema transbordante de quantidades ilimitadas de matéria e antimatéria. Em certos aspectos, assemelha-se de fato ao número zero, como pensavam os matemáticos indianos. Longe de ser o não número, o zero contém o conjunto infinito dos números positivos e negativos, organizados em duplas simétricas, de sinal oposto, com soma nula. A analogia poderia ser estendida ao silêncio, entendido como sobreposição de todos os sons possíveis que se anulam um ao outro quando se somam em oposição de fase, ou à escuridão que pode nascer da interferência destrutiva de ondas luminosas.

A hipótese de que tudo possa se originar de uma flutuação quântica do vazio nasce de maneira natural quando se considera que, no nosso universo, a energia negativa devida ao campo gravitacional anula exatamente a energia positiva ligada à massa. Um universo com essas características pode nascer devido a uma simples flutuação, e as leis da mecânica quântica nos dizem que ele pode durar para sempre. O universo com energia total nula constitui uma importante variante da teoria tradicional do Big Bang, que torna desnecessária a presença de uma singularidade inicial.

Vazio e caos

De algum modo a ciência do século XXI confere atualidade à narrativa de Hesíodo, aquela *Teogonia* que abrange a origem de tudo num verso maravilhoso e fulminante: “Primeiro nasceu o caos”. Afirmação perfeitamente conforme à narrativa científica, desde que não se utilize a tradução mais comum e difundida de caos, aquela que o interpreta como desordem e, ao mesmo tempo, indiferenciação. Antes é preciso restabelecer o significado original da palavra, que encontra correspondência no grego *chaino*, abrir-se, *chasko*, ficar de boca aberta, ou *chasma*, abismo. Assim, o caos se torna uma negra garganta aberta, o abismo sem fundo, o vórtice tenebroso, o enorme vazio capaz de engolir e conter qualquer coisa.

O significado original de caos permaneceu em uso por muito tempo. A associação do termo ao conceito de desordem aconteceu muito mais tarde, por obra de Anaxágoras e depois Platão. Com eles, o caos se torna o recipiente da matéria amorfa à espera de ser ordenada por um princípio superior. Será a Mente, ou o Demiurgo, a dar forma àquele material vil e grosseiro e a construir o *cosmo*, o sistema organizado e perfeito que regula e governa tudo. Desde então essa ideia resistiu por milênios.

Mas o caos inicial, entendido como vazio, não é de forma alguma desordem. Não há sistema mais rigidamente ordenado, regulado e simétrico do que o vazio. Tudo nele é codificado, toda partícula material segue de braços dados com a correspondente antipartícula, toda flutuação observa disciplinadamente os vínculos do princípio da incerteza, tudo se move segundo um ritmo cadenciado e bem dosado, uma coreografia perfeita, sem improvisações nem virtuosismos.

De algum modo esse mecanismo perfeito emperra, algo estranho surge de repente e ocupa o centro da cena; depois, com um salto, desencadeia subitamente o processo que produzirá um espaço-tempo que se expande e, junto com ele, a massa e a energia que o curvam.

A extrema ordem que rege o todo se estilhaça numa fração de

segundo e a minúscula flutuação quântica se expande desmedidamente, impulsionada por um processo que chamamos de *inflação cósmica*. Muitos detalhes do fenômeno ainda nos escapam, a começar pela identidade da partícula material, o *ínflaton*, que, extraída do vazio por um mecanismo puramente casual, deu início à maravilhosa roda-viva da qual nos ocuparemos no próximo capítulo.

* Nessa época, o grande defensor da ideia original de Lemaître era o físico russo naturalizado americano George Gamow. Gamow havia elaborado sobre as ideias de Lemaître e construído um modelo matemático bastante avançado. Foi contra ele que Hoyle voltou suas baterias. (N. R. T.)

Primeiro dia

Um sopro irrefreável produz a primeira maravilha

TUDO ACONTECE NUM ÁTIMO. Um instante antes, aquela microscópica estrutura que borbulha e se agita, exatamente como as outras que a rodeiam, nos parece completamente insignificante.

Ampliando o olhar, temos a impressão de quase ver uma espuma finíssima. A miríade de minúsculas flutuações de que ela é composta traz à memória o líquido primordial das narrativas mitológicas: o *aphros*, espuma em grego, que dá nome a Afrodite, nascida do sangue e do esperma de Urano. Cronos, o filho, arrancou-lhe o sexo com uma foice, para vingar a mãe Gaia, e o jogou no mar, fazendo as águas plácidas de Chipre borbulharem com um evento milagroso.

Da espuma quântica nascerá algo ainda mais surpreendente do que a deusa do amor e da beleza: um universo inteiro. Mas ninguém ainda pode imaginar o que está para acontecer. Passaram-se apenas 10^{-35} segundos desde o momento em que ela se formou, um intervalo de tempo tão insignificante que nem sequer conseguimos imaginar. Ficamos todos à espera de que a minúscula bolha, na qual se concentra a nossa atenção, regresse às fileiras, como todas as outras. E, no entanto, a irrupção de um sopro irrefreável a faz crescer desmesuradamente. O objeto infinitesimal, que flutuava ordenado e tranquilo, seguindo o rígido cerimonial do princípio da incerteza, de súbito infla de maneira paroxística. A loucura que se apodera dele envolve também o vazio circundante e o engolfa de forma inexorável, arrastando-o no mesmo mecanismo. Tudo aconteceu tão depressa que, para ver exatamente o que se passou, precisaríamos de uma câmera lenta. Mas nenhum instrumento é capaz de registrar fotogramas numa velocidade que permita captar os detalhes de uma metamorfose tão rápida.

Depois, de súbito, tudo se acalma, e a estranha coisa que agora parece ter vida própria continua a se expandir, embora num ritmo imensamente menor.

Assistimos ao nascimento de um universo, o nosso. Termina o primeiro dia, e nasceu um universo que já contém tudo de que precisará para evoluir nos 13,8 bilhões de anos seguintes, e passaram-se apenas 10^{-32} segundos.

Um estranho campo primordial

O universo começa, portanto, com uma minúscula flutuação do vazio que, enquanto se expande, é preenchido por uma estranha substância que o faz inflar desmedidamente.

O primeiro a propor a teoria que subverteu a cosmologia moderna foi Alan Guth, um jovem físico com doutorado pelo MIT que, aos 32 anos de idade, procurava emprego em uma prestigiosa universidade americana. Convidado a realizar um seminário em Cornell, uma das melhores, foi lá que ele apresentou, em 1979, sua ideia revolucionária.

Como vimos, a teoria tradicional do Big Bang, apesar de confirmada em linhas gerais pelas observações, deixava muitos problemas sem solução. O primeiro deles era a origem da *singularidade* a partir da qual tudo se iniciara. Não se compreendia o mecanismo pelo qual ela podia se formar, visto que o Big Crunch fora excluído. Nos anos 1980, sabia-se que não havia matéria suficiente no universo para superar a densidade crítica, aquela que poderia desencadear a grande implosão. Pensava-se, portanto, que a fuga das galáxias se desaceleraria aos poucos, por efeito da gravidade, sem, porém, dar início ao catastrófico colapso gravitacional. Resumindo, não se conseguia explicar como ocorreria o Big Bang.

No objeto de dimensões insignificantes que pode ser produzido por mecanismos puramente casuais, a força que conduz as danças é a gravidade, que é atrativa. Para que aconteça a expansão inicial, o Big Bang, é necessário haver uma fortíssima repulsão gravitacional, uma *antigravidade*: algo semelhante à constante cosmológica que Einstein havia introduzido na sua equação para tornar o universo estável, mas tremendamente mais poderosa.

A matéria comum, a massa e a energia produzem uma energia negativa do vazio, e disso nasce uma pressão positiva, isto é, que tende a comprimir, a conter o todo. Mas, se entrar em jogo uma substância nova, que produza uma energia positiva, a pressão decorrente é negativa, ou seja, impele em direção ao exterior, tende a

fazer expandir.

Outro mistério estava ligado à incrível homogeneidade do universo observável. Por toda parte ao nosso redor há galáxias de todas as formas, algumas plácidas e tranquilas, outras atormentadas pelas atividades pirotécnicas de *supernovas*, estrelas de nêutrons e buracos negros; mas, por assombrosa que seja, a paisagem cósmica se repete. Enfim, quando se observam regiões de grandes dimensões, os objetos que povoam os cantos mais remotos do universo são muito semelhantes.

Isso evoca aquela sensação de desorientação que experimentamos quando, ao desembarcar em aeroportos de outros continentes, por exemplo Kuala Lumpur ou Sydney, nos vemos passeando entre as mesmas lojas, com as mesmas roupas nas vitrines, dos aeroportos de que partimos, por exemplo Roma ou Paris. O mesmo ocorre com as malas, telefones ou máquinas fotográficas. Para esse fenômeno, porém, há uma explicação óbvia, que tem relação com as grandes cadeias de distribuição do mundo globalizado; entretanto, até os anos 1990, não se fazia nenhuma ideia dos mecanismos subjacentes à incrível homogeneidade nas observações astronômicas.

O mistério se adensava ainda mais porque, conforme eram utilizados telescópios cada vez mais potentes e se tornava possível investigar porções do universo até então inacessíveis, viam-se apenas coisas extremamente parecidas com tudo o que já era conhecido: galáxias semelhantes às já vistas, aglomerados de galáxias que pareciam irmãos gêmeos dos recém-catalogados.

Ainda mais impressionante era a uniformidade medida na temperatura da radiação cósmica de fundo. Para qualquer lugar a que se apontassem os instrumentos, o resultado era sempre o mesmo: 2,72 Kelvin, pouco acima do zero absoluto.

Como era possível que todas as mais remotas zonas do universo, com uma distância de bilhões de anos-luz entre si, tivessem combinado de apresentar exatamente a mesma temperatura no exato instante em que cientistas de um minúsculo planeta, num anônimo sistema solar de uma galáxia qualquer, haviam decidido dar uma olhada no que estava acontecendo ao redor? As distâncias entre as

regiões observadas eram grandes demais para supor um mecanismo qualquer capaz de explicar o fenômeno.

Procurando uma resposta para isso, Guth tentou imaginar o que poderia acontecer se, durante a expansão da bolha primordial, o minúsculo volume tivesse sido ocupado por uma energia do vazio positiva, semelhante à conjecturada para a constante cosmológica. O candidato que lhe parecia mais promissor era o bóson de Higgs, uma partícula de que se falava muito naqueles anos para explicar a origem das massas das partículas elementares.

O bóson de Higgs é uma partícula neutra e escalar, isto é, tem *spin* nulo. De fato, o campo de Higgs fornece ao vazio uma energia positiva, mas, se o volume em questão se expandisse rápido, a densidade de energia diminuiria com a mesma rapidez e não poderia fornecer nenhum impulso. Para manter a densidade constante num volume que aumenta rapidamente, a energia total, por sua vez, também deveria crescer, e isso violaria o princípio de conservação da energia.

Mas e se durante a queda brusca há um obstáculo? E se, por algum motivo, sua corrida em direção a um ponto zero, aquele do vazio, para por um instante, o que acontece?

A resposta de Guth a essa pergunta mudou, mais uma vez, o modo de ver a origem do universo.

Uma expansão irrefreável

O mecanismo prevê um campo escalar que confere ao vazio uma energia potencial positiva e, no decorrer da sua evolução, se detém por uma fração de segundo num estado de falso vazio, numa redução do potencial de valor constante e diferente de zero.

Imaginemos um esquiador iniciante que está descendo devagar por uma pista fácil, mas precisa parar em certo momento, pois se depara com um platô ou uma vala profunda. Por algum tempo ele ficará preso na depressão, precisará fazer força com os bastões para sair da vala; talvez acabe caindo e precise recomeçar até alcançar a escarpa. Ultrapassado o pequeno obstáculo negativo, porém, ele poderá retomar a descida e chegar rapidamente ao fundo do vale.

Se o campo escalar faz como o esquiador, isto é, detém-se mesmo que apenas por um instante no platô, desencadeia-se um fenômeno de violência descomunal. Por causa da energia do vazio positiva, a bolha recebe um impulso para aumentar seu volume. Com o campo bloqueado na vala, a densidade de energia permanece constante, e, como o volume está crescendo, aumenta a energia positiva nele armazenada, e assim o impulso de dilatação cresce ainda mais.

O movimento de expansão não retira, mas, ao contrário, insere energia no espaço. Quanto mais a bolha cresce, mais aumenta o impulso de expansão. É a dinâmica típica dos crescimentos exponenciais, que, nesse caso, tem uma explicação muito convincente. Graças à energia em excesso, a bolha extrai do vazio outras partículas escalares que vão preencher o seu volume, e essas, por sua vez, aumentam ainda mais o impulso.

Preso na vala, o campo preenche o espaço com uma substância que exerce uma pressão enorme, não positiva como a da matéria e da energia, mas negativa como a da energia do vazio que Einstein introduzira com sua constante cosmológica.

Para o grande cientista bastava uma força repulsiva relativamente fraca para contrabalançar a força de atração fornecida por massa e

energia, e a sua energia do vazio era constante: o campo permanecia eternamente cristalizado, como Branca de Neve adormecida no caixão de vidro.

O campo primordial concebido por Guth tem, entretanto, uma forte dinâmica; como no conto de fadas, o beijo do príncipe interrompe o sono da bela donzela, mas apenas por um brevíssimo instante, e disso nasce um incrível sortilégio. Aquele despertar furtivo, que prende o campo no falso vazio por uma fração de segundo, produz uma força repulsiva fortemente variável no tempo. Ela é gigantesca no período em que o campo está bloqueado e diminui rapidamente tão logo sai do estado de falso vazio. A antigravidade de Alan Guth, que desencadeia a tremenda expansão na origem do universo, é de cem ordens de grandeza maior do que a constante cosmológica. Foi essa extraordinária pressão negativa que dilatou tudo numa velocidade monstruosa. É daí que vem o Bang.

Num minúsculo intervalo de tempo acontece o inimaginável. Aquele objeto infinitesimal, bilhões de vezes menor do que um próton, sofre um crescimento exponencial que prossegue num ritmo desenfreado digno de pôr no chinelo o mais frenético *crescendo* rossiniano. Num piscar de olhos torna-se um objeto macroscópico. Quando sai dessa fase paroxística, tem dimensões comparáveis às de uma bola de futebol e já contém toda a matéria e a energia de que precisará para evoluir nos bilhões de anos vindouros. Numa fração de tempo irrisória, esse objeto insignificante cresceu dezenas de ordens de grandeza, expandindo-se numa velocidade muito superior à da luz. Os limites impostos pela relatividade — dentro dos quais nada pode se mover em velocidade maior do que c — são válidos se algo se move *dentro* do espaço. Em relação ao próprio espaço, que se expande no vazio, ou, para ser mais preciso, transforma o vazio em espaço, essas imposições não se aplicam. Não há limite de velocidade para o universo criança que corre rumo ao seu futuro.

Logo outras flutuações quânticas, similares às que o geraram, irão libertá-lo da vala em que ficara preso para reconduzi-lo ao caminho certo, fazendo com que ele se precipite no estado de verdadeiro vazio, que alcança num instante. Desde o tempo zero se passaram apenas

10^{-32} segundos. Mas tudo mudou.

Assim que se encerra essa fase, enquanto o campo permanece oscilando placidamente na sua vala de mínimo de potencial, a energia acumulada no objeto que sofreu uma transformação tão explosiva se transforma numa enorme quantidade de matéria/antimatéria, duplas de partículas e respectivas parceiras que são extraídas aos montes do vazio interagem entre si e com os resíduos do campo até que o todo alcança uma condição de equilíbrio térmico.

O universo recém-nascido contém agora toda a matéria e energia atuais, apesar de concentradas num pequeno volume; a densidade e a temperatura são altíssimas, e se inicia uma segunda fase de expansão que, embora rápida, segue num ritmo decididamente menos alucinado do que o que prevalecia até um instante antes.

Alan Guth abriu o odre de couro com que Éolo presenteara Ulisses, contendo os ventos de tempestade que o impediriam de voltar a Ítaca. Como os companheiros de Ulisses, ele retirou o fino cordão de prata que o fechava: libertou o mais poderoso dos sopros e desencadeou o inferno.

Para dar um nome a esse novo fenômeno, Guth utilizará a expressão *inflação cósmica*, derivada do latim *inflare*, inflar, que já fora usada na economia para descrever o crescimento vertiginoso dos preços.

A conhecida expressão ressoa com acepções negativas, derivadas das experiências traumáticas dos períodos de inflação galopante. Basta pensar nas histórias dramáticas da Alemanha após o fim da Primeira Guerra Mundial. O aumento dos preços trouxe aumentos ainda maiores, numa espiral que ninguém conseguia deter. Tão logo recebiam o salário, os operários corriam ao mercado para comprar de tudo, pois no dia seguinte, com o mesmo dinheiro, só conseguiriam comprar metade dos produtos, e, no intervalo de uma semana, o dinheiro do salário já não valeria nada. Os vendedores, prisioneiros do mesmo mecanismo infernal, remarcavam continuamente os preços das mercadorias. Em janeiro de 1923, um quilo de pão custava 250 marcos; em dezembro, o preço subira ao valor astronômico de 400 bilhões de marcos. São os absurdos do crescimento exponencial.

O sucesso da teoria inflacionária

A hipótese de que o universo atravessou uma fase de inflação cósmica é, ainda hoje, tema de candentes discussões entre os cientistas, embora uma considerável maioria já a considere a explicação mais convincente.

Um dos pontos fortes a favor da teoria é que ela explicaria de maneira natural o princípio cosmológico, ou seja, a extrema homogeneidade do universo em grande escala.

À primeira vista, isso pode parecer bastante contraintuitivo. Basta olhar o céu para ver o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas, e ter a impressão de uma extrema variedade de estruturas povoando o cosmo. Na verdade, este é mais um dos inúmeros preconceitos de que somos prisioneiros, devido à simples razão de termos um ponto de vista muito limitado e um olhar que não nos permite atravessar grandes distâncias.

Mas, se usarmos os instrumentos de exploração mais modernos e ampliarmos o horizonte até abranger todo o cosmo, essas diferenças “locais” se tornam detalhes insignificantes. Experimentos recentes catalogaram 200 mil galáxias para concluir que, em dimensões de centenas de milhões de anos-luz, as estruturas encontradas são sempre muito semelhantes, quase idênticas. Em suma, o nosso universo, maravilhoso e variegado em seus recantos locais, quando navegado em grande escala, é bastante monótono, para não dizer um tédio.

A homogeneidade se torna ainda mais rigorosa quando atentamos para sua distribuição de temperatura. Desde os anos 1970, para estudar em detalhe a radiação cósmica de fundo, planejou-se o uso de instrumentos nos satélites. Livre das perturbações devidas à atmosfera terrestre, seria possível fazer medições muito mais precisas e, melhor ainda, em todos os comprimentos de onda. No entanto, foram necessários vinte anos para se obter os primeiros resultados, que, mesmo tendo chegado apenas a partir do início dos anos 1990, confirmaram veementemente as previsões da teoria da inflação

cósmica.

A homogeneidade e a isotropia do universo se revelam impressionantes. A distribuição de temperatura reproduz com perfeição a prevista pela teoria: o universo se comporta como um gigantesco forno de micro-ondas, cujo aquecimento cessou num passado distante e desde então se resfriou de maneira uniforme, conforme se expandia. Regiões separadas por bilhões de anos-luz têm exatamente a mesma temperatura, medida com uma precisão absurda: 2,72548 graus acima do zero absoluto. A radiação é isotropa, isto é, a mesma em todas as direções, mais do que uma parte em 100 mil.

Que mecanismo permitiu a troca de energia entre zonas tão distantes a ponto de termalizar tudo com tal uniformidade?

Não pode ser a luz, porque, quando ela surgiu, o universo já era enorme, com cerca de 100 milhões de anos-luz. E as distâncias eram grandes demais para permitir que a luz corrigisse as eventuais diferenças de temperatura. Naquela época, as zonas mais remotas do universo já apresentavam a mesma exata temperatura a milhões de anos-luz de distância. Só a inflação cósmica permite entender como isso pode ter ocorrido. Outros mecanismos propostos se mostram pouco plausíveis.

Antes da inflação, na minúscula bolha que se debatia contra as imposições da mecânica quântica, todas as partes estavam em contato entre si, como o ponto das *Cosmicômicas* de Calvino. Podendo trocar informações entre si, todas elas tinham as mesmas propriedades, e a temperatura, em particular, era a mesma. A expansão inflacionária propaga essa homogeneidade em escala cósmica e faz com que ela se torne propriedade geral do universo. Com isso, também agiganta desmesuradamente as infinitesimais flutuações quânticas presentes no interior da bolha primordial. Inflando o espaço, amplifica também as pequenas perturbações, que continuarão a crescer até alcançar a escala dos aglomerados de galáxias. Expandidas em nível cósmico, aquelas minúsculas ondulações de energia se tornarão uma fina rede que envolve tudo, e seus nós agirão como sementes para produzir novos agregados da matéria. Essas variações de densidade farão com que filamentos de matéria escura se adensem e atrairão gás e poeira,

ao redor dos quais nascerão as primeiras estrelas e se formarão as primeiras galáxias.

Dessa relação incandescente, rigidamente determinada e, ao mesmo tempo, caótica, entre as distâncias do cosmo e o mundo infinitesimal da mecânica quântica, nasceram as estruturas materiais que originaram dinâmica e beleza. Um mundo sem flutuações não teria produzido estrelas, galáxias, planetas; num universo perfeito não haveria o vento da primavera nem o sorriso das crianças. Todos descendemos dessa anomalia que chamamos de inflação e que levou a espuma quântica a adquirir dimensões cósmicas.

Quando os mais sofisticados instrumentos nos satélites demonstraram que a distribuição das isotropias é exatamente a prevista pelos modelos inflacionários, mesmo os detratores mais convictos da nova teoria tiveram de admitir seu poder preditivo.

Restava, contudo, uma discrepância enorme, que trazia o risco de abrir uma nova crise e fazer tudo ruir como um castelo de cartas. Com efeito, a inflação comportava necessariamente um universo com curvatura local nula, isto é, plano. A curvatura do espaço-tempo depende da densidade, isto é, do seu conteúdo de matéria e de energia. Para densidades exatamente iguais à densidade crítica, o universo é plano, sua curvatura local é nula, como a de uma superfície plana; o que significa que a expansão continua indefinidamente. Para densidades superiores, o universo se fecha, sua curvatura local é positiva como a de uma esfera, a expansão diminui e o Big Bang se inverte em Big Crunch. Para densidades inferiores, a curvatura é negativa, como a de uma sela de cavalo, e também nesse caso a expansão continua ao infinito.

Se a inflação de fato ocorreu, o universo não pode ser plano; as dimensões iniciais da bolha microscópica teriam sido *esticadas* e *achatadas* pela expansão desenfreada dos primeiros instantes, e apenas um universo primordial com curvatura rigorosamente nula poderia permanecer plano depois de bilhões de anos. Qualquer desvio inicial dessa condição seria desmedidamente amplificado pela expansão seguinte.

Em outras palavras, seria possível obter uma das verificações mais

importantes da teoria da inflação medindo a curvatura local do universo ou sua densidade de matéria e energia. E aqui nasciam os problemas.

É possível obter a curvatura local do espaço-tempo, mais uma vez, a partir da radiação fóssil de fundo. Basta medir o diâmetro angular das minúsculas inomogeneidades de temperatura, diferenças de alguns milésimos de grau entre uma região e outra do céu, resultantes das flutuações estatísticas primordiais. E aqui os dados experimentais reproduziam de maneira impecável as previsões da inflação, porque diziam que o universo é plano. Mas esse resultado ia de encontro às medições de densidade de energia do universo, que, até o início dos anos 1990, pareciam indicar que o universo era aberto, isto é, tinha uma curvatura em sela.

Essa discrepância persistiu por vários anos como ponto sensível da teoria inflacionária, desencadeando objeções de muitos detratores. A inflação teve que ser abandonada porque implicava necessariamente que a densidade do universo era igual à densidade crítica, enquanto as observações mais acuradas até meados dos anos 1990 indicavam que não chegava sequer a um terço.

Foi com a descoberta da energia escura, em 1998, que esse argumento foi revertido. Observando que a velocidade de fuga das galáxias mais distantes aumentava com o tempo, era preciso aceitar a ideia de uma nova forma de energia que permeava todo o espaço e contribuía para a massa total do universo, correspondendo a dois terços do total. Nesse ponto, o valor da densidade atingiu o valor crítico, foi possível entender por que a geometria do universo era plana e tudo isso se tornou mais uma confirmação da validade da hipótese inflacionária.

Em busca do revólver fumegante

Apesar do sucesso da teoria e das numerosas confirmações experimentais, há ainda um pequeno mas aguerrido grupo de críticos que se opõe vigorosamente à hipótese da inflação.

É uma dinâmica normal, típica do método científico: criticar tudo, duvidar sempre, procurar os pontos fracos, avaliar as hipóteses alternativas faz parte da deontologia profissional dos cientistas.

Mas é preciso reconhecer que há ainda um ponto crítico que os céticos podem destacar. Afinal, a inflação nasce de um campo escalar que surge do vazio com seu potencial instável e se desencadeia na expansão, mas até agora ninguém encontrou traços inequívocos do *ínflaton*, a partícula associada a esse campo. No dia em que isso ocorrer ninguém mais terá dúvidas; seria como encontrar o “revólver fumegante” da inflação. Mas isso ainda não aconteceu, e a caça ao *ínflaton* continua.

A ideia inicial de Alan Guth era que o bóson de Higgs poderia ter sido o responsável por desencadear tudo. A fantasmagórica partícula, na época, era apenas uma hipótese, elemento central de uma teoria que podia muito bem se resumir a uma conjectura arbitrária, como muitas outras. Além disso, ela não previa valores precisos para a massa do bóson e outras características a ela relacionadas. Com o bóson de Higgs assumindo o papel do *ínflaton*, tornava-se fácil explicar como a inflação começaria, mas não era nada simples encontrar um mecanismo que a detivesse.

Na verdade, o próprio Guth e outros cientistas logo desenvolveram modelos em que diversos campos escalares podiam ativar o mesmo mecanismo. O papel do potencial bloqueado, presumido para o bóson de Higgs como um estado de falso vazio, poderia ser desempenhado por um potencial fracamente variável, que diminuía devagar com o tempo, à medida que a bolha primordial se expandia. Assim, famílias inteiras de modelos inflacionários diferentes se desenvolveram, cujas características dependiam essencialmente das hipóteses formuladas

sobre o ínflaton.

Alguns chegaram a teorizar modelos de *inflação eterna*. Partindo da ideia de que as flutuações quânticas do campo escalar poderiam desencadear o paroxismo inflacionário a partir de uma minúscula porção do mesmo, fazendo nascer um universo que então iniciaria a sua evolução, seria possível que, do restante do material remanescente às margens dele, se desenvolvessem outros universos, num mecanismo de inflação eterna que produziria aquela miríade de universos previstos nas modernas teorias do *multiverso*.

Apenas com a descoberta do ínflaton será possível, de um lado, ter a confirmação irrefutável da correção da teoria e, de outro, diferenciar os vários modelos propostos.

Em 2012, após uma busca de quase cinquenta anos, o bóson de Higgs foi descoberto no Cern, e todas as suas características, inclusive a massa, foram medidas; com isso, foi imediatamente reaberto o debate sobre o seu possível papel na fase inflacionária.

O recém-chegado é a primeira partícula escalar fundamental, e, ainda hoje, alguns cosmólogos pensam que é ele o ínflaton. Outros contestam esses estudos e o consideram pesado demais. Procura-se, portanto, uma partícula semelhante, porém mais leve, que possa aparecer em algum decaimento raro produzido pelas colisões do LHC, ou algum outro escalar, parente próximo seu, com o qual poderia ter dividido o trabalho primordial de dar origem a um universo inteiro.

As opiniões sobre esse ponto são contraditórias, e a solução só poderá vir de uma nova campanha de estudos experimentais.

Nos próximos anos estão previstas medições muito mais precisas da radiação cósmica de fundo, capazes de reconstruir com clareza os traços evanescentes deixados pela inflação. Com a recente descoberta das ondas gravitacionais, espera-se levar a sensibilidade dos novos instrumentos a um nível tal que nos permita identificar as ondas gravitacionais fósseis, aquelas imperceptíveis flutuações do espaço-tempo que podem nos revelar o que aconteceu durante a fase de crescimento inflacionário.

Enquanto não chega a surpresa da descoberta, estamos conduzindo experimentos com o LHC em busca de um novo escalar com todas as

características adequadas que correspondam ao retrato falado do procurado número um.

Na era mítica da Grande Unificação

A inflação não é o primeiro ato que ocorre em cena, embora seja decididamente um dos mais espetaculares. Não somos capazes de descrever o que aconteceu nos brevíssimos instantes anteriores, mas sabemos que foram coisas importantes. Uma barreira insuperável nos impede de entender. Podemos apenas lançar hipóteses, como fazem os prisioneiros da caverna de Platão.

Acorrentados desde a infância, com as pernas e o pescoço presos por grilhões, sem nenhuma experiência do mundo externo, eles não podem ter a percepção direta daquilo que acontece fora da caverna, para além de suas paredes. Por isso constroem sua visão do mundo a partir das sombras que ali aparecem. Nós, cientistas, fazemos algo parecido ao tentar intuir o que pode ter acontecido antes da inflação. Só podemos ver sombras e imaginar.

Fazemos medições acuradas na escala de energia que podemos explorar diretamente, por meio dos aceleradores de partículas ou estudando os fenômenos mais energéticos que se produzem no cosmo. Depois extrapolamos esses resultados para a escala de energia que não somos capazes de estudar diretamente e formulamos hipóteses consistentes com todas as observações coletadas.

Estamos falando da fase inicial da vida do universo, cuja duração incrivelmente breve é a do tempo de Planck, 10^{-43} segundos, ao qual corresponderia uma dimensão do universo de 10^{-33} centímetros. Nessa escala o espaço não é liso nem inerte, mas fervilha de partículas virtuais que aparecem e desaparecem num ritmo infernal. Disso nasce uma efervescência quântica desenfreada, um espaço tumultuado e caótico que se enche de asperezas e inomogeneidades. Nessas dimensões a espuma quântica ferve em espasmos e flutua sem cessar. A curvatura e a topologia nessa região só podem ser descritas em termos probabilísticos.

Nenhuma das teorias atuais consegue descrever o que aconteceu na era de Planck, e das diferentes hipóteses derivam diferentes previsões.

Para além das paredes que impedem a visão, escondem-se os segredos da gravidade quântica, a quimera perseguida há décadas por várias gerações de físicos. Talvez a insignificante região esteja repleta de minúsculas *cordas* oscilantes que evoluem em dez ou 26 dimensões, ou talvez o espaço tenha uma estrutura discreta organizada em loops infinitesimais, ou talvez os truques que a natureza desenvolveu para quantizar a gravidade superem o esforço de imaginação que nós humanos despendemos até hoje.

Até agora ninguém conseguiu vislumbrar tempos tão próximos ao instante inicial nem explorar distâncias tão pequenas. Só é possível aventar hipóteses razoáveis sobre os fenômenos dominantes nesse intervalo de tempo: pensamos que é a era da Grande Unificação. As forças fundamentais estão unificadas num só campo: uma única superforça primordial governa a insignificante porção de espuma que se tornará o nosso universo.

Todo o mundo em que vivemos se mantém unido por forças que podemos classificar em ordem decrescente de intensidade. A primeira da lista é a interação nuclear forte, aquela que mantém unidos os quarks para formar prótons e nêutrons e com eles organiza os núcleos dos diversos elementos. Daqui vem a energia que se desprende das bombas nucleares ou que mantém as estrelas acesas. A força fraca é mais tímida e menos ostensiva. Age apenas em distâncias subnucleares e raramente ocupa o centro da cena. Mostra-se em alguns decaimentos radioativos, aparentemente insignificantes, mas na verdade vitais para a dinâmica do universo. A força eletromagnética mantém unidos átomos e moléculas, e com suas leis regula a propagação da luz. A gravidade é de longe a mais fraca, mesmo sendo muito mais popular do que as outras. Ela atua sempre que uma massa ou uma energia está presente e permeia todo o cosmo, regulando o movimento dos menores asteroides do sistema solar até os mais gigantescos aglomerados de galáxias.

Hoje, no universo velho e frio que habitamos, essas forças agem separadamente e têm intensidade e raio de ação diferentes. Mas o que verificamos em inúmeros experimentos é que tudo isso varia com a densidade de energia. Conforme ela aumenta, parece se instaurar um

princípio de justiça e igualdade: “Os fortes serão menos fortes e os fracos serão menos fracos”. A força forte diminui de intensidade e o mesmo acontece com a força eletromagnética. Em sentido contrário, a intensidade da interação fraca aumenta a ponto de ser possível prever onde as curvas convergirão: a energia com a qual irão se fundir numa só força.

Em tudo isso, a gravidade se mantém um pouco de lado: é tão fraca que não conseguimos medir variações da sua intensidade nas escalas até hoje exploradas, mas se torna natural supô-la em ação.

Chamamos de “era de Planck” esse período primordial na evolução do universo, dominado por uma superforça que unifica as quatro forças fundamentais. É como imaginar uma espécie de Idade do Ouro, a santa aliança entre homens e deuses, que vivem juntos compartilhando amores e ciúmes.

No universo minúsculo e quentíssimo das origens vigoram simetrias elegantes e perfeitas que se rompem, uma após a outra, à medida que o todo se resfria. Uma primeira dramática separação ocorre justamente na era de Planck, quando a gravidade se dissocia das demais forças. Logo a seguir, uma outra transição de fase separa a força forte e a eletrofraca.

A nossa história já está começando, antes mesmo que a inflação produza o Big Bang: numa minúscula porção do vazio, o campo de uma superforça passa gradualmente por transformações de fase, rupturas de simetria que separam as várias interações. As cristalizações posteriores do campo primordial povoarão o nosso mundo com as quatro interações fundamentais e, de repente, tudo mudará.

Diferente do que aconteceu nas duas primeiras rupturas de simetria, para a seguinte, que separa definitivamente a força fraca da eletromagnética, reunimos dados inequívocos que nos permitem contar uma história detalhada. Pudemos estudá-la em laboratório, reproduzindo no Cern, com a descoberta do bóson de Higgs, o principal protagonista daquilo que ocorreu 10^{-11} segundos após o Big Bang. É sobre isso que iremos falar no próximo capítulo.

Segundo dia

O toque delicado de um bóson muda tudo, para sempre

O UNIVERSO INCANDESCENTE, recém-saído da fase inflacionária, já contém toda a matéria e energia de que precisa, mas, se pudéssemos olhar no seu interior, não reconheceríamos nada de familiar. Veríamos uma espécie de gás amorfo de minúsculas partículas indistinguíveis entre si: todas desprovidas de massa, voando à velocidade da luz. O conjunto se apresenta como um objeto perfeito, homogêneo e isotrópico, igual a si mesmo em todos os pontos e sob todos os ângulos. Nenhum ponto de agregação, nenhuma desuniformidade.

Se não fosse sua expansão a uma velocidade imensa, poderíamos confundi-lo com a representação ideal do ser parmenidiano: em todas as partes igual a si mesmo, simétrico em todas as rotações, completamente isento de defeitos e imperfeições. É o reino da uniformidade e da perfeição, governado pela simetria, que é, ao mesmo tempo, simplicidade e elegância. Se algo surpreendente não viesse perturbar aquela harmonia que parecia imutável, nada poderia ter nascido daquele objeto perfeito. Seria um universo estéril, um enorme desperdício de energia, desprovido da luz da Lua e do perfume das flores, triste, anônimo, desolado.

Estamos próximos do momento em que acontecerá a última e talvez a mais importante das transformações que decretarão o seu destino.

Passada a euforia da inflação, a expansão do universo prossegue, impulsionada pela energia que fervilha em seu interior. Aumentando suas dimensões, o universo se resfria e, com isso, desencadeia reações que irão alterar profundamente a sua dinâmica.

Chegamos a um centésimo de bilionésimo de segundo depois do Big Bang, e a partir daí as coisas são muito mais claras. Desde que descobrimos o bóson de Higgs e medimos a sua massa, essa parte da história guarda poucos segredos.

O universo recém-nascido já é imponente. Alcançou a considerável dimensão de 1 bilhão de quilômetros, e, de repente, quando a

temperatura diminui abaixo de um certo limiar, os bósons de Higgs, que um instante antes esvoaçavam livres, congelam e se cristalizam. A essas temperaturas, para eles gélidas, não podem sobreviver, e se escondem no sepulcro confortável do vazio. Será preciso muita paciência para tornar a vê-los. Levará 13,8 bilhões de anos até que alguém consiga produzir no planeta Terra colisões de energia tão elevada a ponto de trazê-los de volta à vida, ainda que por uma fração de segundo; tempo suficiente, porém, para que eles deixem traços inequívocos da sua presença.

O campo a eles associado adquire um valor específico, que muda radicalmente as propriedades do vazio. Muitas partículas elementares, quando o atravessam, sofrem uma forte interação e diminuem de velocidade, isto é, adquirem massa; outras, viajando sem ser incomodadas, permanecem sem massa e podem continuar a se mover à velocidade da luz.

Com o campo de Higgs é rompida a simetria perfeita que caracterizava o universo primordial, e a interação fraca se separa definitivamente da eletromagnética. Algumas partículas ganham tanto peso que se tornam instáveis e desaparecem de imediato do universo em rápido resfriamento. Outras adquirem alguma massa, mas continuam leves, característica que será fundamental para se chegar muito em breve a uma organização da matéria bastante especial.

O recém-chegado, o campo de Higgs, agindo com delicadeza, construiu multiplicidades seguindo uma regra simples e clara. As partículas elementares, que ficam como que enredadas no seu campo, diferenciam-se entre si segundo a intensidade da interação e, com isso, acabam por adquirir massas inevitavelmente diferentes. Sua ação sutil se assemelha à do Demiurgo no *Timeu* de Platão, o artesão ordenador que, com a mediação do número, confere dinamismo e vitalidade à matéria amorfa e não gerada que preexistia a ele.

Tudo nascerá desse toque delicado que muda as coisas para sempre. Mas ainda é cedo, não nos afobemos. O segundo dia acaba de terminar e se passaram apenas 10^{-11} segundos.

O encanto de Narciso

Quando vemos o quadro pela primeira vez, é impossível não nos encantarmos com o círculo perfeito que encerra as duas figuras: a do rapaz de trajes refinados que se inclina sobre a água e sua imagem refletida, que ele admira extasiado. A solução escolhida por Caravaggio para narrar o mito de Narciso é genial. É uma das metamorfoses mais famosas de Ovídio, a do belo jovem que, por ter rejeitado a ninfa Eco, é condenado a se apaixonar loucamente pela única pessoa que jamais poderia ter: ele próprio. Assim, o jovem estende a mão esquerda na direção da sua imagem refletida na água, na tentativa de tocar o amado, mas tudo que consegue é molhar os dedos. O círculo em torno apenas ressalta a perfeita simetria do reflexo que cria a relação entre as duas figuras.

O famoso quadro do Palazzo Barberini em Roma é uma das muitas obras-primas que usaram a simetria como chave para representar a beleza. O significado literal da palavra grega da qual deriva, *com medidas apropriadas*, remete aos conceitos de proporção e de harmonia que tanto espaço ocupavam no imaginário estético e filosófico da Antiguidade. Para gregos e romanos, a obra, para ser bela, devia ser necessariamente simétrica, com elementos e volumes seguindo relações matemáticas entre si.

A simetria central, a que define a distribuição regular dos gomos de uma laranja ou das pontas de uma estrela-do-mar, é amplamente usada no mundo clássico: pensemos na cúpula do Panteão ou no Templo de Hércules Victor na Piazza Bocca della Verità em Roma.

A acepção moderna de simetria, que envolve repetições regulares de formas e figuras, transformações sob translações e rotações, é uma aquisição mais recente. A partir dessa nova consciência nasceram verdadeiras joias do Renascimento, como a cúpula da Basílica de São Pedro, de Michelangelo, ou a maravilha de Bramante, o Tempietto de San Pietro in Montorio.

A noção moderna de simetria possibilitou uma formalização

matemática que encontrou muitas aplicações no campo científico. Para a física, em especial, a simetria não é apenas uma propriedade que implica regularidade e elegância nas relações. É um verdadeiro instrumento de investigação que permitiu descobrir novas leis da natureza. Tudo isso ocorreu graças a Emmy Noether, talvez a maior matemática da história.

A jovem estudiosa alemã teve de penar durante anos antes de poder lecionar na universidade; era uma colaboradora não remunerada, tolerada com muita má vontade, quando, em 1918, formulou a relação que mudaria a física contemporânea. O teorema de Noether estabelece que a toda simetria contínua das leis da física corresponde uma *lei de conservação*, isto é, uma quantidade física mensurável que permanece invariada.

Os exemplos mais comuns são as simetrias que dão origem aos princípios de conservação da mecânica clássica. Se um sistema segue leis de movimento que não mudam quando se desloca o sistema de referência — simetria de translação espacial —, conserva-se a quantidade de movimento; se elas são invariantes para a translação do eixo temporal, conserva-se a energia; se o são para a rotação, conserva-se o momento angular, e assim por diante.

Na física contemporânea, essa relação entre simetrias, transformações e grandezas físicas que se conservam é generalizada. A invariância de algumas propriedades físicas num sistema submetido a transformações permitirá descobrir e formalizar as relações que lançarão as bases de uma nova concepção da matéria. Nascerão assim os princípios de conservação de grandezas físicas com nomes estranhos que serão decisivos para descrever os mínimos componentes da matéria: *a estranheza*, *o isospin*, *o número leptônico* e assim por diante.

O conceito de simetria se tornará mais geral, e por isso passa-se a falar em *simetrias contínuas ou discretas, locais ou globais, exatas ou aproximadas*: instrumentos fundamentais para entender a dinâmica das partículas elementares e dos seus campos. Sem a contribuição de Emmy Noether, nada disso teria sido possível.

O auge desse esforço será o desenvolvimento do Modelo Padrão das

partículas elementares, uma monumental construção que engloba a mais acurada descrição da matéria de que dispomos atualmente.

A teoria de maior sucesso da física contemporânea explica a matéria por meio de um número bastante restrito de componentes: seis *quarks* e seis *léptons*, organizados cada qual em três diferentes famílias. As doze partículas de matéria se combinam ou interagem, trocando outras partículas que transmitem as forças: o *fóton* que transporta a interação eletromagnética; os *glúons* que transmitem a interação *forte*; os *bósons vetoriais* *W* e *Z* que permitem propagar a interação *fraca*. As partículas de matéria, léptons e quarks, têm spin semi-inteiro ($\frac{1}{2}$ e seus múltiplos) e constituem a família dos *férmions*, enquanto as partículas que trazem as interações têm spin inteiro (1 e seus múltiplos) e formam a família dos *bósons*. Com essa pequena lista de ingredientes é possível construir todas as formas conhecidas de matéria, tanto as estáveis que povoam a nossa vida cotidiana quanto as exóticas e efêmeras que se produzem nos aceleradores ou nos processos altamente energéticos no coração das estrelas ou durante as catástrofes cósmicas.

Desde o começo, a teoria teve um sucesso clamoroso graças a seu enorme poder preditivo. Desde a sua formulação, nos anos 1960, levantou a hipótese de novas partículas que foram regularmente descobertas e permitiu calcular com grande precisão novas grandezas que, uma vez medidas, se mostraram de acordo com as previsões, às vezes até a décima casa decimal.

A viga de sustentação do Modelo Padrão é a unificação da interação eletromagnética com a *fraca*, que assim se tornam duas manifestações diferentes de uma mesma força única, a interação *eletrofraca*.

Mais uma vez, tudo nasce de uma simetria. O primeiro a vislumbrá-la foi Enrico Fermi, quando, pouco antes dos trinta anos de idade, intuiu que por trás de um fenômeno aparentemente marginal — radioisótopos que decaíam emitindo elétrons — ocultava-se uma nova força fundamental. Fermi formulou a hipótese de uma forte analogia formal entre a nova interação e o eletromagnetismo e a utilizou para construir uma descrição da nova força e calcular a constante de acoplamento.

Por muitos anos, a nova força seria chamada de “interação de Fermi”. Passará a se chamar “interação fraca” só muito tempo depois, para evocar o pequeno valor daquela constante, G , que determina a intensidade da força e que, em homenagem a seu descobridor, é até hoje chamada de “constante de Fermi”.

A ideia inovadora do jovem cientista abriu caminho para a unificação entre força eletromagnética e força fraca que, trinta anos depois, constituiria a base do Modelo Padrão das interações fundamentais.

Em 1865, James Clerk Maxwell publicou as equações que lançaram as bases da teoria unificada dos fenômenos elétricos e magnéticos: nascia o eletromagnetismo. Um século depois, a história se repete. Logo após meados dos anos 1960, Steven Weinberg, Sheldon Glashow e Abdus Salam, com a contribuição determinante de Gerardus 't Hooft, formalizarão a nova teoria. Eletromagnetismo e força fraca são duas manifestações diferentes da mesma interação, que daqui por diante será chamada eletrofraca.

A descoberta de W e Z — os bósons vetoriais previstos pela nova teoria — realizada em 1983 por Carlo Rubbia assinalará o triunfo definitivo do Modelo Padrão. Por trás do sucesso, porém, ocultava-se uma fissura profunda, uma fraqueza intrínseca da teoria que poderia abalar sua viga de sustentação e provocar a queda do edifício inteiro.

Tudo nascia da pergunta mais simples de todas: como é possível que as duas interações, tão diferentes entre si, sejam manifestações da mesma força? A força eletromagnética tem raio de ação infinito, enquanto a interação fraca se manifesta apenas nas ínfimas distâncias subnucleares. Uma lei geral da física nos diz que o raio de ação de uma força é inversamente proporcional à massa da partícula que a transporta. O fóton tem massa nula e, portanto, a interação eletromagnética atinge as distâncias mais descomunais. Ao contrário, W e Z são muito massivos, pesam o equivalente a 80-90 prótons e têm um raio de ação minúsculo. A força fraca age no interior dos núcleos e é por isso que não nos damos conta da sua presença até pouco tempo atrás.

Mas então como pode o fóton, desprovido de massa, mediar a

mesma interação eletrofraca transportada por W e Z? O que realmente diferencia W e Z do fóton? O que é exatamente a grandeza que chamamos de massa?

A beleza da simetria rompida

Castelfranco Veneto é uma das inúmeras joias ocultas da Itália, tendo mantido a estrutura original da cidade murada, que cresceu dentro do castelo que a defendia. A catedral que, como de costume, foi edificada no centro da cidade é uma bela construção neoclássica. É uma igreja de dimensões moderadas, nada comparável às grandes basílicas. Mas, tão logo entramos e chegamos à capela Costanzo, à direita do presbitério, ficamos assombrados. No altar impera o retábulo de Giorgione, obra-prima do pintor de Castelfranco, cuja casa natal ainda pode ser visitada na pracinha ao lado.

Giorgio Barbarelli — é o seu nome verdadeiro — teve vida curta, mas deixou obras inesquecíveis. Tem apenas 25 anos de idade quando, em 1503, começa a pintar o retábulo encomendado por Tuzio Costanzo, comandante de origem messinense, a soldo da Sereníssima para comandar as suas armadas. Ele deseja um retábulo para a capela mortuária do filho, Matteo, abatido pelas febres da malária aos 23 anos de idade, nos arredores de Ravena, durante uma campanha militar.

Giorgione decide romper com a tradição. Os grandes artistas antes dele — de Piero della Francesca até seu próprio mestre, Giovanni Bellini — sempre haviam colocado os personagens no centro de uma construção ideal, num jogo perspectivo e áulico que por vezes remetia às linhas da igreja onde as pinturas eram colocadas. Giorgione mantém a forte estrutura iconográfica da pirâmide, em cujo vértice estão a Virgem com o Menino, mas decide romper a perspectiva e abri-la para o exterior. O altíssimo trono, sobrenatural, quase metafísico, ergue-se contra uma paisagem de pungente suavidade numa luz difusa que envolve campos e colinas. Nas figuras e no pano de fundo celebra-se o triunfo da pintura tonal vêneta, o toque que diferenciava os pintores da Sereníssima dos florentinos, aquela “pintura sem desenho” de que fala Giorgio Vasari em seu *Vidas dos artistas*. Uma técnica de grande perícia realizada com veladuras de cor

sobrepostas, que evita qualquer transição brusca entre luzes e sombras, envolvendo todos os contornos num suave e delicado *chiaroscuro*.

A grande pintura tem uma dupla simetria axial: alto-baixo e direita-esquerda. Um grande pano de veludo vermelho-escuro delimita o mundo terreno, com o piso xadrez, regular e ordenado, sobre o qual se apoiam a base do trono e as duas figuras nas laterais. No alto, o mundo celeste que se recorta contra a paisagem de excruciante melancolia com a figura da Virgem Mãe no centro.

A simetria perfeita é rompida no alto pela figura do Menino, sentado no joelho direito da Virgem, absorto na consciência do seu destino. Embaixo as duas figuras estão na mesma pose, colocadas em posição perfeitamente simétrica em relação ao eixo médio da pintura; ambas olham direto para o observador e o transportam para o interior da representação, mas o contraste entre eles não poderia ser mais intenso. São Francisco, à direita, vestido com o humilde hábito com que se dirigiu a Dumiati, indefeso e desarmado, para levar sua mensagem de paz ao sultão Camil, do Egito. À esquerda, ao contrário, a armadura coruscante e cintilante de São Nicácio, frade-guerreiro da Ordem Soberana e Militar Hospitalária de São João de Jerusalém, que combateu como cruzado na Terra Santa e, feito prisioneiro na Batalha de Hatim, foi decapitado na presença de Saladino, tio do sultão que, anos depois, dialogará pacificamente com o santo de Assis. Nicácio porta o estandarte dos hierosolimitas, a bandeira com a cruz que se tornará a insígnia dos Cavaleiros de Malta, e a lança que a sustém é o último e mais importante elemento de ruptura de toda e qualquer simetria: invadindo o espaço celeste, rompe a divisão entre os dois mundos e, por fim, despedaça com uma agressiva diagonal a ordem vertical da composição. Aqui se encontra, numa única pintura, aquela ruptura da simetria trabalhada com maestria absoluta que faz do quadro uma obra-prima de originalidade e de beleza.

O fascínio da “simetria rompida” é reencontrado em muitas produções artísticas. O ritmo ordenado da simetria perfeita é pacificador e tranquilizante, mas corre o risco de ser insípido; não emociona porque não produz surpresa; o elemento de ruptura provoca

inquietação, mas ao mesmo tempo intriga, nos faz deixar as certezas e tentar entender para onde nos leva essa fissura do equilíbrio. Vacilamos por um instante, somos tomados por algum tipo de temor com a novidade inesperada e os riscos que ela comporta; depois o artista nos tranquiliza, trazendo-nos de volta para a construção já conhecida. É como quando seguimos uma variação sobre o tema dominante da sinfonia, tememos nos perder e nos acalmamos apenas ao reencontrá-lo, numa espécie de abraço consolador final. Todas essas técnicas são conhecidas e praticadas com maestria por grandes pintores ou músicos geniais, como Bach e Mozart. Nessa discrepância reside o segredo do fascínio insuperável das grandes obras-primas, desde a insólita inclinação da Torre de Pisa ao sorriso assimétrico e intrigante da Mona Lisa, chegando às esculturas em bronze de Arnaldo Pomodoro: aquelas esferas lisas e perfeitas, filhas de uma mágica relação matemática, que ele dilacera e decompõe, mostrando seu interior atormentado.

Se romper a simetria no campo artístico é um ato deliberado que cria fascínio e espanto, por que a natureza parece não conseguir resistir à mesma tentação?

O universo saído da fase inflacionária é o reino da perfeição. As leis da física que o regulam são maravilhosamente simétricas. Por que romper um mecanismo tão perfeito?

Para entender o papel da estrutura espontânea de simetrias para a física, podemos recorrer a um exemplo mecânico: um lápis apoiado sobre a ponta numa superfície plana. O estado inicial do sistema é perfeitamente simétrico. O lápis pode girar em torno de seu próprio eixo e as leis da física permanecem as mesmas, porque o campo gravitacional é simétrico para rotações ao redor do eixo vertical. É uma maneira de dizer que o lápis, se cair sobre o plano, pode tomar qualquer direção. O estado simétrico é instável e o lápis, entregue a si mesmo, cairá. No plano horizontal o lápis está estável, mas rompeu a simetria rotacional do campo gravitacional porque escolheu uma direção em particular. Caindo no plano o lápis perdeu energia e simetria, mas ganhou estabilidade e multiplicidade.

Algo assim ocorreu no universo primordial. O estado incandescente

inicial tem um elevado nível de simetria, mas é instável; resfriando-se, perde a simetria e adquire estabilidade. Mas qual era o estado com energia mais baixa em que o universo se colocava? Que mecanismo podia fazer com que a simetria eletrofraca se rompesse espontaneamente?

O problema se colocara desde os primeiros vagidos da teoria eletrofraca e várias soluções foram propostas, nenhuma delas de fato convincente. Em 1964, a ideia certa ocorreu a três jovens cientistas com pouco mais de trinta anos: Robert Brout e François Englert, dois belgas, e um inglês quase da mesma idade, Peter Higgs.

Mais uma vez, jovens propõem uma ideia nova, fora dos esquemas dominantes, que no início ninguém leva em consideração por ser realmente revolucionária.

Se as equações das duas interações são as mesmas, a única coisa que pode romper a simetria é o meio em que elas se propagam. Ou seja, o vazio. Em outras palavras, é o vazio que “rompe a simetria”, porque o vazio não é... vazio. Um campo ocupa todos os cantos do universo desde tempos imemoriais. É o campo de Higgs, produzido por uma partícula escalar fundamental, que é preciso acrescentar às partículas do Modelo Padrão. Só assim se pode explicar por que a força eletromagnética e a força fraca têm comportamentos tão diferentes a ponto de parecerem não ter sequer um remoto parentesco.

Entretanto, no pequeno universo incandescente das origens, o campo de Higgs se encontrava num estado excitado que tornava tudo perfeitamente simétrico. Com a diminuição da temperatura, ele se congelou num estado de equilíbrio de energia mais baixa que rompe a simetria original. W e Z se tornam massivos porque permanecem pesadamente enredados no campo que os prende, enquanto o fóton continua à solta por toda parte, desprovido de massa: nem mesmo percebe a novidade, pois o campo nem lhe faz cócegas.

Um mecanismo análogo explica por que léptons e quarks têm massas tão diferentes entre si. Também eles nascem, democraticamente, desprovidos de massa. É o campo de Higgs que seleciona e distingue as partículas massivas e as partículas leves. Quanto mais forte a interação com o campo, tanto maior é a massa da

partícula.

Tudo se encaixava elegantemente... a não ser por um pequeno detalhe. Esse campo de Higgs existia mesmo? Quem poderia ter certeza de que essa solução refinada era de fato a escolhida pela natureza? Se havia um campo em algum lugar, a partícula associada deveria aparecer: era o início da grande corrida em busca do bóson de Higgs.

A descoberta do bóson de Higgs

Para verificar que o mecanismo de Higgs era efetivamente responsável pela ruptura da simetria eletrofraca, foi preciso esperar quase cinquenta anos. Esse foi o tempo que levou a caçada à partícula mais fugaz da história da física.

A teoria não previa a massa que o bóson de Higgs deveria ter; portanto, ele podia estar escondido em qualquer lugar. Cientistas do mundo inteiro passaram décadas fazendo esforços sobre-humanos para tentar detectar a nova partícula, sem sucesso. Agora que a descobrimos, sabemos que isso aconteceu porque o Higgs era tão pesado que a energia dos aceleradores em funcionamento até 2010 não era suficiente para produzi-lo. A guinada se deu com a construção do LHC, o grande acelerador do Cern nos arredores de Genebra.

Os aceleradores de partículas são modernas *máquinas do tempo*: nos transportam de volta a bilhões de anos atrás, permitindo-nos estudar os fenômenos na origem do nosso universo. Nas colisões percute-se o vazio e são obtidas partículas materiais. É uma aplicação da famosa relação de equivalência entre massa e energia de Einstein. Quando um feixe de partículas colide com outro, a energia do choque pode se transformar em massa, $E = mc^2$: quanto maior é a energia, mais pesadas são as partículas que podem ser produzidas e estudadas em todos os detalhes. Os aceleradores, portanto, são *fábricas de partículas extintas*, que trazem de volta à vida, por frações de segundo, formas de matéria desaparecidas logo após o Big Bang.

O LHC é hoje o mais poderoso acelerador em funcionamento no mundo. Dois feixes de prótons compostos de milhares de pacotes circulam em direções opostas num tubo a vácuo de 27 quilômetros de circunferência. Em cada pacote estão concentrados mais de 100 bilhões de prótons que são acelerados por fortíssimos campos elétricos, enquanto poderosos magnetos curvam suas trajetórias para mantê-los em órbita e levá-los à colisão. A energia do LHC é de 13 TeV, mas, como os prótons são feitos de quarks e glúons, suas colisões são

bastante complicadas e só uma parte da energia disponível, alguns TeV, pode se transformar em partículas massivas. Os pesados prótons, porém, perdem pouca energia por irradiação, e assim é fácil impulsioná-los para as energias mais altas. Por isso os aceleradores de prótons são as máquinas mais adequadas para a descoberta direta de novas partículas.

Os aceleradores de elétrons têm uma função complementar. Tratando-se de partículas puntiformes, suas colisões são muito mais simples, e toda a energia da colisão pode ser aproveitada para produzir novas partículas. São as máquinas ideais para fazer medições de grande precisão e tentar descobrir novas partículas indiretamente, isto é, pela busca de anomalias sutis.

A desvantagem dos aceleradores de elétrons é que eles não permitem alcançar energias muito elevadas. Partículas leves como os elétrons, quando se movem em órbitas circulares, irradiam grandes quantidades de fótons, e assim deixam escapar uma parcela significativa da sua energia. Essa perda aumenta drasticamente com o aumento da energia e acaba por constituir uma barreira intransponível que limita suas potencialidades de descoberta direta de novas partículas.

As energias geradas com as colisões de partículas produzidas nos aceleradores são insignificantes se comparadas a nossa vida cotidiana. Mas ali, concentradas no espaço infinitesimal em que ocorrem esses choques, recriam-se as condições extremas que não ocorriam desde os tempos do Big Bang. Nessas colisões, ocultos entre uma miríade de fenômenos já conhecidos e mais convencionais, produziram-se os eventos especiais que nos permitiram identificar o bóson de Higgs.

O resultado foi possível graças ao trabalho de dois grupos distintos de pesquisa, Atlas e CMS, cada qual composto de milhares de cientistas. A decisão de ter dois experimentos em curso quando se está à procura de novas partículas é quase obrigatória. Os sinais buscados são tão raros e as possibilidades de erro tão grandes que só com dois experimentos independentes, baseados em tecnologias diferentes e conduzidos por grupos distintos de cientistas, é possível ter certeza de que não se trata de um alarme falso.

O Atlas e o CMS foram concebidos para trabalhar de maneira totalmente independente e há uma intensa rivalidade entre os dois: se um é o primeiro a descobrir um novo estado da matéria e o outro chega depois, podendo apenas confirmar o resultado, toda a glória da descoberta vai para o primeiro. Por isso ninguém dorme um sono tranquilo nas duas colaborações: o pesadelo de que algo dê errado ou que o outro grupo vença a corrida está sempre à espreita.

Devido a um conjunto de circunstâncias que parece inacreditável, deu-se, porém, que os dois experimentos funcionaram à perfeição e os dois grupos chegaram juntos à linha de chegada. Identificaram ao mesmo tempo os primeiros sinais da presença do bóson de Higgs nos dados e, depois, quando o sinal estava tão forte que não deixava mais espaço para dúvidas e cautelas, juntos anunciaram ao mundo, em 2012, a descoberta de uma nova partícula. O recém-chegado tem uma massa de 125 GeV e se mostrou similar em todos os aspectos ao bóson de Higgs previsto pelos “rapazes de 1964”.

Com esse resultado, o Modelo Padrão celebrou um novo triunfo que foi enfim contemplado com o prêmio Nobel, atribuído em 2013 a François Englert e Peter Higgs, os dois sobreviventes do trio de jovens cientistas que foram os primeiros a levantar a hipótese da sua existência.

Quem rompeu a simetria entre matéria e antimatéria?

Agora que descobrimos a nova partícula, as coisas ficam mais claras: podemos entender melhor quando ocorreu a transição e delinear os contornos do mecanismo de ruptura espontânea da simetria eletrofraca.

A hora H depende da massa do bóson de Higgs à qual corresponde uma precisa temperatura do universo primordial, que foi atingida 10^{-11} segundos depois do Big Bang. A partir desse instante, a interação eletromagnética se separa definitivamente da fraca e começa um longo processo que chegará até nós. Como o lápis que cai sobre a mesa, o universo perdeu simetria, mas adquiriu multiplicidade e estabilidade. Tudo o que nos rodeia, a maravilha dessa infinita variedade de formas que ainda nos causa admiração, não poderia nascer se a infernal simetria que a aprisionava não fosse rompida. O beijo do bóson de Higgs desfez o encantamento que aprisionava a princesa na perfeição mortífera da uniformidade mais absoluta. Daquela discrepância, daquele pequeno *defeito* primevo, tudo brotou.

Hoje é possível descrever o potencial associado ao novo campo escalar e entender melhor o mecanismo que teve um papel tão importante na construção da estrutura material do universo. Talvez naquele momento mágico se oculte também a chave para resolver o mistério da antimatéria; por isso, com a descoberta do bóson de Higgs, novas hipóteses estão surgindo.

A primeira ideia de antimatéria remonta a 1928 e nasce, quase por acaso, dos cálculos de Paul Adrien Maurice Dirac. O jovem cientista inglês, na época com 26 anos de idade, estava tentando formular uma teoria que explicasse o comportamento das partículas subatômicas de alta energia. Para isso, precisava conciliar a descrição das partículas fornecida pela mecânica quântica com as transformações devidas aos efeitos relativísticos. Ao ajustar a equação relativística do movimento para os elétrons, ele percebeu com espanto que a mesma valia também para os *électrons positivos*. Aquilo que, de início, parecia uma mera

coincidência formal logo foi considerado a descoberta de outra simetria fundamental da natureza. A mecânica quântica relativística nos diz que, para cada partícula dotada de carga, deve existir outra partícula dotada de massa idêntica, mas com carga oposta: o que hoje chamamos de *antipartícula*.

A ideia de que pudessem existir os componentes elementares de um *antimundo* era tão bizarra que, no começo, ninguém a levou a sério. As coisas mudaram quando outro jovem físico, Carl David Anderson, de 27 anos, da Caltech, concentrou sua atenção em alguns estranhos traços que apareciam no detector com o qual estudava os raios cósmicos. Depois de infinitas verificações, sua conclusão foi inequívoca: eram partículas que tinham a mesma massa do elétron, mas carga positiva. Havia sido descobertos os primeiros *pósitrons*; a *antimatéria*, ainda que rara, era um componente real do nosso mundo material.

Desde então, com impecável regularidade, conforme aumentava o catálogo de novas partículas, enriquecia-se também, em paralelo, o de seus parceiros de carga oposta.

A antimatéria já se tornou bastante comum. É produzida, para uso ou estudo de suas propriedades, em muitos aceleradores de partículas, mas é usada também em atividades clínicas de rotina em muitos hospitais. O exemplo mais comum é a PET, a tomografia por emissão de pósitrons, um exame diagnóstico que permite a reconstrução de imagens funcionais de órgãos a partir da aniquilação de pósitrons e elétrons.

Uma das propriedades que mais impressionaram o imaginário coletivo é justamente essa característica: partículas e antipartículas que, entrando em contato, se transformam em pares de fótons de energia total igual à massa do sistema inicial. Essa transformação muito eficiente de matéria e antimatéria em energia inspirou grandes enredos de ficção científica.

De fato, nenhuma reação pode competir com o processo de aniquilação. A energia que se poderia produzir combinando um quilo de matéria com um quilo de antimatéria seria setenta vezes superior à gerada induzindo a fusão nuclear de um quilo de hidrogênio em hélio

e 4 bilhões de vezes superior à produzida pela combustão de um quilo de petróleo. O problema é que, até agora, ninguém encontrou um mecanismo eficiente para produzir grandes quantidades de antimatéria. Os aceleradores de partículas produzem quantidades infinitesimais a custos energéticos e materiais gigantescos. Estimou-se que a produção de dez miligramas de pósitrons teria um custo de 250 milhões de dólares. Em suma, a antimatéria custaria 25 bilhões de dólares por grama, sendo de longe o material mais raro e mais caro do planeta. Assim, o projeto de construir astronaves com propulsores movidos a antimatéria, como a Enterprise de *Star Trek*, por ora não é muito conveniente.

Desde as suas primeiras formulações, o conceito de antimatéria vem acompanhado por uma pergunta que a física ainda não soube responder: se as equações são simétricas e descrevem de maneira equivalente o comportamento de matéria e antimatéria, por que o nosso mundo é dominado pela matéria? É natural pensar que, no fim da fase inflacionária, a energia em excesso tenha extraído do vazio quantidades iguais de matéria e de antimatéria. Mas a antimatéria parece definitivamente desaparecida do universo que nos rodeia. Onde ela foi parar?

Há milhares de pesquisadores trabalhando em diferentes direções para responder a isso. A primeira linha de pesquisa aborda a hipótese de que grandes concentrações de antimatéria nas regiões do espaço ainda inexploradas podem ter fugido à nossa atenção; mundos inteiros feitos de antimatéria, gigantescas galáxias de antiprótons e pósitrons que até hoje escapam a todas as observações.

A segunda tem como hipótese que tudo se deve a uma sutil diferença de comportamento entre matéria e antimatéria, uma pequena anomalia, que rompe a simetria original e está na base de tudo. Fizeram-se estudos detalhados e, de fato, foram encontrados diversos mecanismos que dão uma levíssima predominância à matéria nos processos de decaimento de partículas e antipartículas. Essas diferenças são previstas pelo Modelo Padrão, mas a preferência concedida à matéria é pequena demais para explicar seu predomínio.

Por fim, nos últimos anos, tem-se considerado outra hipótese. Tudo

poderia ter sido determinado por algo muito especial que ocorreu precisamente quando o bóson de Higgs ocupou o centro da cena e rompeu aquela simetria perfeita que dominava o universo primordial. Bastaria uma leve preferência a se acoplar com partículas em vez de antipartículas e se produziria o universo material que nos cerca.

Mas outras hipóteses também estão surgindo. Uma delas é que a assimetria tenha nascido precisamente da maneira como a transição de fase ocorreu. Dependendo da velocidade com que se deu essa passagem, uma anomalia local poderia ter se tornado propriedade geral do novo sistema e nesse ponto teria se criado a bifurcação. O nosso universo material teria enveredado pelo caminho da matéria, abandonando definitivamente o da antimatéria.

Para estudar em detalhe esses fenômenos, será necessário produzir dezenas de milhões de bósons de Higgs e medir em detalhe suas mínimas características, em busca de qualquer possibilidade de anomalia. São os estudos que estão se realizando com o LHC, à medida que se aumenta a luminosidade (ou seja, a potência) da máquina para produzir mais colisões. Mas, para entender de fato o que aconteceu, talvez seja necessário construir um acelerador ainda mais potente. Energético a ponto de perturbar o campo de Higgs e reconstruir todas as passagens daquela fatídica transição, estudando o seu comportamento longe daquela cômoda posição de equilíbrio em que repousa há bilhões de anos.

A mais profunda das simetrias

O nome supersimetria abriga, na verdade, uma complexa família de teorias unidas pela hipótese de que cada partícula conhecida tem um par supersimétrico, isto é, uma partícula que se assemelha a ela em todos os aspectos, exceto por ser muito mais pesada e ter um spin diferente em $+/-\frac{1}{2}$. Aos férmions comuns, com spin semi-inteiro $\frac{1}{2}$, correspondem, portanto, bósons supersimétricos com spin inteiro (0, 1), enquanto aos bósons comuns correspondem férmions supersimétricos. No *supermundo*, são os férmions que portam as interações e os bósons que constroem a matéria.

A teoria prevê que essa forma superior de simetria também se rompeu nos primeiros instantes após o Big Bang. Em outras palavras, partículas supersimétricas povoavam o ambiente incandescente do universo primordial na mesma proporção da matéria comum. Mas o rápido resfriamento devido à expansão acarretou sua extinção em massa. Impossibilitadas de sobreviver, elas se desintegraram quase que de imediato em matéria comum, e por isso não as encontramos mais.

Na verdade, pode ter havido exceções. A teoria prevê que podem existir partículas supersimétricas estáveis, ou seja, que não podem de forma alguma decair. Essas partículas pesadas, que interagiriam apenas fracamente, poderiam construir enormes aglomerados capazes de exercer uma intensa atração gravitacional. Se assim fosse, isso nos permitiria entender a origem da matéria escura que mantém unidas galáxias e aglomerados de galáxias. Essas enormes concentrações de partículas supersimétricas estáveis poderiam ser o resíduo fóssil daquela época primordial em que a matéria supersimétrica dominava o mundo.

O fascínio da Susy, o acrônimo que nomeia o conjunto das teorias supersimétricas, advém também do fato de que dela surgiria um cenário mais simples para a unificação das interações fundamentais, e haveria um lugar especial também para o bóson de Higgs. A partícula descoberta em 2012 seria, na verdade, a primeira de uma família

inteira de super-Higgs, e a supersimetria nos permitiria entender melhor por que possui uma massa de 125 GeV. Partículas supersimétricas virtuais a protegeriam da instabilidade que, por efeitos quânticos, afeta uma escalar daquela massa, construindo ao seu redor uma espécie de armadura protetora.

Para que uma teoria seja verificada, porém, não basta que seja elegante e goze de uma notável popularidade entre os físicos teóricos. É preciso que essas partículas tão estranhas sejam identificadas nos dados de algum experimento, e isso até agora não aconteceu. Pode ser, portanto, que a teoria esteja errada. Ou as partículas supersimétricas poderiam ser tão pesadas que nem com o LHC consigamos produzi-las. Nesse caso, seria preciso perceber sua presença através dos seus efeitos *virtuais*. Partículas ultramassivas podem pairar como fantasmas ao redor das partículas conhecidas e interferir com os mecanismos conhecidos previstos pelo Modelo Padrão. Nasceriam assim anomalias que poderiam ser registradas pelos nossos detectores e constituir uma importante descoberta “indireta” da nova física.

Assim, a caçada à supersimetria continua em diversas frentes ao mesmo tempo. Aproveitando o aumento de energia do LHC, que desde 2015 funciona a 13 TeV, espera-se conseguir produzir essas partículas massivas que escaparam a todas as pesquisas até aqui realizadas. Ao mesmo tempo, procuram-se os primos de Higgs na região que já foi explorada na pesquisa do escalar do Modelo Padrão. O que se fez até agora não basta, porque são procuradas partículas com características muito diferentes. Os primos supersimétricos do Higgs têm modos de produção e decaimento peculiares, e, por isso, é preciso elaborar estratégias muito específicas. Também é necessária uma grande quantidade de dados, porque poderiam ser partículas mais difíceis de produzir e mais raras de encontrar.

Independentemente de tudo isso, prosseguem os estudos sobre o bóson de Higgs a 125 GeV. O Modelo Padrão prediz todas as suas características com grande precisão. Até agora tudo o que vimos está de acordo com as previsões, mas nossa precisão é limitada pela pequena quantidade de bósons que conseguimos produzir e reconstituir. Para muitos processos de decaimento, a incerteza das

nossas medições ainda é grande e poderia esconder as anomalias previstas pela Susy.

Com o LHC, um trabalho de investigação acurado, paciente e sistemático continua. Todos os esforços serão feitos na busca de sinais inequívocos de supersimetria, com a esperança secreta de que o bóson de Higgs, descoberto pouco tempo atrás, possa servir de portal para uma nova física, e de que o ocorrido em 2012 possa ser o primeiro elo de uma longa cadeia de descobertas.

Os aceleradores do futuro

A física está vivendo um momento de profunda transformação. Agora que encontramos a última partícula que ainda não tinha respondido à chamada, o Modelo Padrão das interações fundamentais está completo. Mas, ao mesmo tempo que se celebra mais um triunfo dessa teoria, todos estão conscientes de que a lista dos fenômenos para os quais ela não fornece nenhuma explicação é tão extensa a ponto de ser embaraçosa.

Ainda não entendemos a dinâmica exata da inflação, nem conseguimos unificar as forças fundamentais, inclusive a gravidade, de forma coerente. Desconhecemos por completo os mecanismos que levaram ao desaparecimento da antimatéria, para não falar dos fenômenos que poderiam explicar a matéria e a energia escuras.

Todos sabem que, mais cedo ou mais tarde, será preciso redimensionar o Modelo Padrão. Ele provavelmente se tornará um caso particular de uma teoria mais geral, capaz de oferecer uma descrição nova e mais completa da natureza. A beleza do trabalho de pesquisa é que ninguém sabe quando isso irá acontecer. Pode ser qualquer dia: basta que nas últimas análises dos dados do LHC apareça um novo estado da matéria; ou, quem sabe, sejam necessários anos de tentativas e talvez uma nova geração de máquinas aceleradoras.

Assim, enquanto o trabalho prossegue, já se projetam os instrumentos do futuro. Os tempos para o desenvolvimento e a implantação de um novo acelerador são medidos em décadas. As primeiras discussões sobre o LHC começaram em meados dos anos 1980 e a máquina ficou pronta em 2008. Se quisermos pensar num novo acelerador que comece a operar em 2035-40, o momento de agir é agora. Não por acaso, o Cern publicou no início de 2019 um relatório com o projeto do FCC, acrônimo para Futuro Colisor Circular, o acelerador herdeiro do LHC.

O FCC está sendo pensado por um grupo de estudo internacional cuja finalidade é *conceber* um projeto, definir as infraestruturas e

estimar os custos para a construção de um colisor de 100 quilômetros no Cern. O projeto prevê, numa primeira fase, um acelerador que produzirá colisões entre elétrons e pósitrons, o FCC-ee, que a seguir será convertido numa máquina próton-próton, o FCC-hh, seguindo o esquema já utilizado no Cern com a sequência LEP e LHC.

A proposta, nascida em 2014, angariou imediatamente enorme apoio da comunidade internacional. O trabalho envolve mais de 1300 físicos e engenheiros de 150 universidades, institutos de pesquisa e parceiros industriais. O resultado do estudo é um relatório detalhado que constitui a base para definir a nova estratégia europeia no campo dos aceleradores de partículas.

A decisão de construir uma nova infraestrutura deveria ser tomada em 2020. Num cenário realista, seria possível iniciar a construção do FCC-ee em 2028 e começar as operações antes de 2040. A máquina de prótons é, no entanto, muito mais complexa e demandaria mais tempo de desenvolvimento para a produção em escala industrial dos magnetos. O início de atividades do FCC-hh ficaria situado entre 2050 e 2060.

Em suma, estão se tomando agora decisões cruciais que determinarão as fronteiras da pesquisa científica de base de todo um século.

Do ponto de vista da pesquisa, a combinação em sequência dos dois aceleradores é, de longe, a melhor configuração. Ela se apresenta como uma espécie de movimento articulado que não oferece escapatória para a nova física, onde quer que ela se esconda.

A máquina de elétrons e pósitrons é o ambiente ideal para realizar mensurações precisas do *bóson de Higgs* e dos parâmetros fundamentais do Modelo Padrão. Está previsto que o novo acelerador funcione primeiro a 90 GeV, para produzir uma enorme quantidade de Z, depois passe a 160 GeV, para gerar pares de W, então aumente até 240 GeV, para produzir milhões de *bósons de Higgs* em associação com Z e, por fim, alcance os 365 GeV para criar pares de *top*, os mais pesados entre os quarks.

As novas partículas, que explicariam a matéria escura ou novas interações que nos levariam às dimensões ocultas do nosso universo,

poderiam ser descobertas de maneira indireta, por meio das mais incríveis medições de precisão dos parâmetros do Modelo Padrão jamais imaginadas.

Se a precisão não bastar, passaremos à força bruta. Com os 100 TeV de energia do FCC-hh, será possível explorar uma escala de energia sete vezes superior à do LHC. Qualquer novo estado da matéria com massa compreendida entre alguns TeV e algumas dezenas de TeV seria identificado diretamente; será possível entender se o bóson de Higgs é elementar ou tem uma estrutura interna, bem como estudar os detalhes da ruptura espontânea da simetria eletrofraca que poderiam se mostrar decisivos para compreender a predominância da matéria no mundo.

Os custos do projeto são notáveis. Serão necessários 9 bilhões de euros para cavar o túnel e equipar a máquina de elétrons, e outros 15 bilhões para construir os poderosos magnetos necessários ao FCC-hh. Contudo, se considerarmos o espaço temporal em que se distribuirá o investimento e levarmos em conta as contribuições financeiras que poderão chegar do mundo todo, o empreendimento parece sustentável. Não há dúvida de que a Europa, com o FCC, lança o seu desafio e ocupa o centro da cena no debate mundial sobre os aceleradores do futuro.

Os Estados Unidos, líderes incontestáveis no campo até algumas décadas atrás, estão mantendo uma posição discreta e parecem resignados a ter um papel secundário. Muito diferente é o caso dos tigres asiáticos, não mais só o Japão, mas também a Coreia e sobretudo a China.

Os investimentos em pesquisa de base na China crescem a cada ano. E numa escala que não ousamos sequer sonhar. Entre 2000 e 2010, os investimentos chineses dobraram, e hoje a China já gasta mais do que a Europa inteira em pesquisa e desenvolvimento. Ela também lançou um ambicioso programa de exploração espacial, que compreende uma estação científica orbital e uma missão de exploração lunar, e a cada ano inaugura dezenas de novas universidades e importantes infraestruturas de pesquisa.

A classe dominante chinesa entendeu que os investimentos na

ciência de base permitem que o país ingresse na elite tecnológica mundial. Mas seu projeto é muito mais ambicioso: eles não querem apenas participar, mas sobressair na atividade que consideram de importância estratégica para uma superpotência que pretende liderar o mundo inteiro.

Não por acaso, o gigante asiático propõe o cepc (Circular Electron-Positron Collider), um projeto muito semelhante ao do FCC: um anel de cinquenta a setenta quilômetros que hospedaria uma *fábrica de Higgs*, um colisor elétron-pósitron de 240 GeV, para depois passar a um acelerador de prótons capaz de produzir colisões de 50-70 TeV no centro de massa.

A máquina poderia ser construída na região de Qinghuada, uma *área* montanhosa perto do mar, a trezentos quilômetros de Pequim, conhecida como a “Toscana chinesa”. A escavação de um túnel de dezenas de quilômetros na China tem custos muito menores do que na Europa, e, além disso, os chineses parecem dispostos a cobrir uma boa parte deles.

Em suma, a proposta do FCC, que chega justo num período de crises e divisões que atravessam a Europa, poderia ser uma boa ocasião para voltarmos a pensar grande. Se o continente pretende ter um papel decisivo no desenvolvimento da inovação e do conhecimento, não aceitando ceder a liderança em setores estratégicos como a física fundamental, o FCC constitui uma grande oportunidade.

Assim, o estudo daquilo que aconteceu nas origens do nosso universo, 13,8 bilhões de anos atrás, se entrelaça com os desafios científicos, tecnológicos e até políticos atuais.

Terceiro dia

Nascimento dos imortais

O EVENTO TRAUMÁTICO QUE separou para sempre a força fraca e a eletromagnética acaba de acontecer e, aparentemente, nada mudou. Não se vê nem se pode tocar o vazio eletrofraco que se instaurou por toda parte. Mas os componentes daquele sistema caótico, um frenesi incontrolado de objetos puntiformes que fervilham por toda parte, o percebem.

O recém-chegado diferencia o comportamento de cada componente individual, designa papéis, define funções. *É como se*, naquele sistema desordenado e indistinto, de súbito tivesse se instaurado uma organização interna, ainda invisível, que logo levará a transformações irreversíveis. A aparente anarquia que domina as múltiplas interações contém agora uma sutil trama de hierarquias e de organização. A partir desse momento as transformações serão profundas. Uma sequência avassaladora de acontecimentos levará alguns componentes elementares a se condensarem em formas cada vez mais estáveis de organização. São os primórdios de um mundo material persistente; estão se consolidando os tijolos de base sobre os quais a grande construção adquirirá forma, e logo conseguiremos reconhecer elementos que nos são familiares.

O universo já alcançou uma dimensão de 100 bilhões de quilômetros e, mesmo assim, prossegue em sua expansão irrefreável. Sua temperatura, mesmo baixando rapidamente, ainda alcança trilhões de graus. Na agitação espasmódica dos seus componentes começam a ser percebidas diferenças de comportamento e algumas regularidades. Dentro de poucos instantes, com a diminuição da temperatura, os quarks mais leves congelarão num estado muito peculiar. Um sistema complicado e genial, um estado ligado de quarks e glúons que ocupa uma razoável porção de vazio; uma casa confortável, um espaço amplo, muito cômodo para hospedar três quarks e um certo número de glúons; um verdadeiro parque de

diversões para componentes elementares que estarão livres para perseguir uns aos outros e grudar uns nos outros, cercados por partículas virtuais que os enlaçam num abraço caótico e turbulento. O ambiente é tão bem concebido que durará para sempre. Nascem os primeiros prótons, constituintes de base de qualquer estrutura material mais complexa, tão sólidos e bem organizados que podem ser considerados imortais. Muitas outras formas de organização da matéria serão instáveis, se transformarão em algo diferente, talvez depois de uma fração de segundo ou de 1 milhão de anos. Não será o caso do próton, cuja vida média será tão imensa que, em comparação a ela, os 13,8 bilhões de anos do universo poderão ser considerados um evento de duração irrisória.

Tudo ainda está incandescente, mas logo o universo inteiro acabará sob o domínio do Gênio do Frio, cujo reinado não será temporário, como no *Rei Arthur* de Henry Purcell. O grande compositor barroco o faz despertar do seu frio sepulcro, sob o manto das neves perenes, pelo impulso de uma força primordial que não existe no universo. O ambiente gelado que nos cerca *não conhece primaveras; Perséfone, a filha de Deméter* raptada pelo rei dos infernos, comeu todas as sementes da romã e não poderá mais voltar à superfície.

Nesse local tão inóspito, os prótons são os mais adequados para sobreviver. Constituirão a célula primordial de notas que servirão para construir as sinfonias mais complexas, e que combinadas em infinitas variantes darão origem às variações mais inusitadas e às recorrências mais tranquilizadoras, a partir de uma iminente novidade de onde partirá uma sequência de outras transformações.

A massa específica que os elétrons adquiriram na interação com o vazio lhes permitirá orbitar de maneira estável em torno dos primeiros prótons, e assim poderão se formar átomos e moléculas. Então surgirão as enormes nebulosas gasosas das quais nascerão as primeiras estrelas e depois as galáxias, os planetas, os sistemas solares, até os primeiros organismos vivos, cada vez mais complexos, para enfim chegar até nós. Aquela sequência de sons maravilhosos está para começar. Ouçam.

O mais perfeito dos líquidos

Desde o Big Bang se passou apenas um microssegundo (10^{-6} , um milionésimo de segundo), a temperatura é superior a 10 trilhões de graus e o universo inteiro fervilha de um estranho material. Ele se assemelha a um plasma, outro termo que deriva do grego, indicando uma espécie de gelatina, algo, justamente, plasmável. É como chamamos, por exemplo, os gases ionizados, isto é, levados a temperaturas tão altas que são capazes de arrancar todos os elétrons dos átomos, de modo que o meio, que permanece eletricamente neutro, fica, na verdade, composto de partículas livres de carga oposta. O plasma que ocupa o universo primordial não é feito de íons e elétrons, mas é composto de todas as espécies de partículas que se movem em velocidades relativísticas, sobretudo quarks e glúons. A força forte nessas temperaturas é fraca demais. Sua constante de acoplamento aumentará à medida que o universo esfria, mas ainda não é capaz de conter a energia cinética para criar estados ligados.

O plasma de quarks e glúons resultante é um gás que se assemelha a um fluido ideal. Seus componentes deslizam um sobre o outro sem nenhuma resistência, incapazes de interagir. É um líquido perfeito, de viscosidade praticamente nula, um superfluido ideal, que escorre por toda parte sem esforço, capaz de penetrar qualquer interstício que esteja vazio. Essa espécie de sopa fina, impalpável e quentíssima, com suas estranhas propriedades, foi estudada em todos os detalhes desde que foi possível recriá-la em laboratório. O resultado é relativamente recente e se baseia na utilização de poderosas máquinas capazes de provocar a colisão de íons pesados.

Os aceleradores mais comuns usam partículas puntiformes como os elétrons, ou, no máximo, os prótons, sistemas compostos constituídos por um punhado de quarks e glúons. Também nesse caso, as colisões mais energéticas ocorrem entre objetos puntiformes: os seus constituintes elementares, isto é, duplas de glúons ou quarks, se chocam frontalmente enquanto o restante do próton se despedaça.

Com precauções especiais, é possível injetar, fazer circular e acelerar nas mesmas máquinas objetos muito mais volumosos e complexos, como os íons pesados. Trata-se, de fato, de núcleos de átomos ionizados, dos quais foram subtraídos, no todo ou em parte, os elétrons orbitais. Possuindo cargas elétricas, eles podem ser injetados nos aceleradores, adquirir energia e entrar em colisão com outros feixes. Sendo mais complexos e pesados, suas colisões são muito mais espetaculares, verdadeiros fogos de artifício dos quais saem dezenas de milhares de partículas.

Consideremos as colisões entre íons de chumbo que são realizadas no LHC. Nesse caso se aceleram e se criam colisões entre núcleos muito pesados, compostos de mais de duzentos prótons e nêutrons, todos levados a energias monstruosas.

Um núcleo ultrarrelativístico parece uma espécie de disco compacto e fino. A relatividade o força na direção do movimento, e os quarks e os glúons que o compõem, cuja massa cresce com a velocidade, levam ao rápido aumento da densidade local de matéria nuclear. Quando dois discos pertencentes a feixes contrapostos se chocam frontalmente — *head-on*, como se costuma dizer —, é como se centenas de choques individuais superpostos ocorressem. No centro da colisão se desenvolve uma temperatura local tão elevada que, por uma fração de segundo, vemos quarks e glúons se fundirem e formarem uma gotícula daquele fluido primordial, o plasma de quarks e glúons.

A energia dos aceleradores mais modernos é tão elevada que reproduz em laboratório um minúsculo Big Bang. O volume infinitesimal em que se dá esse fenômeno se expande rapidamente devido à temperatura altíssima, e, num instante, o fluido perde as suas características, dando origem a jatos de partículas conhecidas. Mas as propriedades desses produtos secundários, emitidos pelo centro da colisão, nos permitem remontar às características peculiares do superfluido original.

Um próton é para sempre

Depois de alguns microssegundos, com a diminuição da temperatura, excede-se a temperatura crítica que permite a sobrevivência do plasma de quarks e glúons. O universo, a essa altura, está povoado por uma profusão de fótons, com quarks e léptons que esvoaçam por toda parte junto com os glúons, enquanto W e Z, que se tornaram massivos, têm um raio de ação limitado.

Conforme o universo esfria, a interação trazida pelos glúons se torna cada vez mais forte, cada glúon acaba por se grudar a algum quark e desaparece de vista, e a matéria começa a se agregar em estados pesados, chamados genericamente de *hádrons* (“fortes”, em grego, pois são formados por quarks e sujeitos à força forte). As primeiras tentativas de produzir matéria estável não dão certo: nascem duplas de quarks e antiquarks ligados por glúons, mas a ligação não dura muito tempo porque esses compósitos são instáveis e logo se rompem. As coisas vão bem melhor quando é possível formar sistemas aparentemente mais complexos, formados por três quarks.

A nova configuração se mostra imediatamente promissora. A trinca de quarks, unida por glúons que esvoaçam entre eles, grudando num e noutro, parece um sistema feito para durar. Na verdade, quando se usam os quarks mais pesados, as coisas não dão tão certo. Por um instante até parece que está tudo bem, mas depois eles também mostram sinais de instabilidade, e logo a seguir, quando a temperatura diminui ainda mais, desagregam-se, produzindo minúsculos fogos de artifício.

A verdadeira surpresa vem quando se organizam as trincas de quarks mais leves. A primeira família contém os quarks *up*, *u*, e *down*, *d*, os mais leves e menos visíveis, aqueles que interagem de modo mais fraco com o campo escalar de Higgs e só são mais pesados do que os levíssimos léptons. Os gigantescos *top*, milhares de vezes mais massivos, tentam, mas não conseguem reunir nada de estável. Já os pequeninos, pelo contrário, se saem bem naquilo em que os seus

corpulentos primos fracassam irremediavelmente.

A arquitetura assim nascida tem a simplicidade das ideias geniais, como a mesa de três pernas que sempre encontra o ponto de equilíbrio e nunca bambeia. Dois quarks *up* com carga $+\frac{2}{3}$ junto com um *down* de carga $-\frac{1}{3}$ constituem um sistema com carga líquida positiva $+1$, que se chamará *próton*.

O recém-chegado é uma espécie de arquétipo da estabilidade, uma arquitetura ideal, feita para durar. O conjunto dos três quarks rodopiantes, enredados no melaço da força forte transportada pelos glúons, torna-o uma espécie de fortaleza inexpugnável. Apesar da leveza dos seus componentes elementares, tem uma massa considerável, quase 1 GeV, dominada pela energia do campo de *força forte* que o mantém unido. Os três levíssimos quarks estão unidos por uma enorme energia de ligação, muito superior à sua massa. É a *cola forte* que o mantém unido, o segredo oculto da massa do próton, que assim ganha uma estabilidade lendária.

Com o universo que, à medida que fica mais frio, atravessa energias muito inferiores à sua energia de ligação, será cada vez mais difícil conseguir despedaçar os prótons. Isso ainda acontecerá quando eles forem acelerados a velocidades ultrarrelativísticas nas catástrofes estelares e vagarem como raios cósmicos de alta energia. No momento em que entrarem em colisão com outros corpos, haverá as mesmas reações de desintegração que os terráqueos conseguirão reproduzir em seus aceleradores de partículas. Mas serão fenômenos raros. Na grande maioria dos casos, os três quarks leves, imersos em seu mar de glúons pegajosos, ficarão ali tranquilos, protegidos das mudanças de um universo que evoluirá por bilhões de anos.

Experimentos complexos tentaram quantificar a estabilidade do próton, isto é, dentro de quais limites se pode dizer que uma partícula é *imortal*. Os resultados são extraordinários.

Se um próton se desintegrasse em outras partículas mais leves, mesmo que por um decaimento muito raro, poderíamos medir sua vida média. Bastaria identificar um desses processos e pronto. Como se espera que sejam muito raros e não é possível fazer experimentos que durem séculos, a única possibilidade é manter sob controle por

um tempo razoável, digamos alguns anos, um número gigantesco de prótons.

No experimento Super-Kamiokande, no Japão, sensores especiais, capazes de identificar a mais tênue das desintegrações, equipam um enorme recipiente preenchido com 50 mil toneladas de água ultrapura. Para evitar qualquer possível alarme falso, controlam-se as mínimas impurezas residuais da água e o conjunto fica instalado numa grande caverna nas profundezas de uma mina. Dessa forma, o experimento se torna menos sensível às interferências ligadas aos raios cósmicos, que poderiam produzir sinais semelhantes aos buscados.

Até agora, não tendo se observado nenhum decaimento, só foi possível estabelecer limites inferiores à vida média do próton, que se demonstrou superior a 10^{34} anos; em suma, dentro dos limites experimentais, ele tem vida eterna. Basta pensar que a idade do universo é pouco superior a 10^{10} anos. Parafraseando uma célebre propaganda de joias, sentimos vontade de dizer: “Um próton é para sempre”. Se for verdade que, quanto à longevidade, não há comparação possível entre prótons e diamantes, restam, porém, muitas dúvidas sobre o efeito de presentear um frasquinho de hidrogênio em vez de um belo anel de brilhantes.

O interesse em procurar processos raríssimos em que um próton poderia decair em outras partículas mais leves consiste também em buscar a validação experimental da Teoria da Grande Unificação. Todos consideram bastante convincente a hipótese de que, para energias suficientemente elevadas, as três interações fundamentais convergem numa única força, uma hipótese corroborada por muitos dados experimentais. Como a unificação seria produzida numa escala de energia inacessível nos dias de hoje, não é possível observar diretamente o fenômeno e estudar todos os seus detalhes. Alguns modelos da Teoria da Grande Unificação preveem que, por mais rara que seja a ocorrência, o próton também deve decair. A descoberta desse processo tão difícil de registrar poderia nos dar indicações mais claras sobre a dinâmica da Grande Unificação.

Pode-se antecipar que os prótons constituem, até agora, o componente principal da matéria comum do universo. A maioria da

matéria visível das galáxias se encontra sob a forma de plasma de hidrogênio, gás quente ionizado, constituído de prótons e elétrons livres. Se os prótons fossem instáveis, o plasma se dissolveria como a neblina sob os raios do Sol. Mas nada disso acontece. Os prótons — estejam eles livres para vagar pelo espaço ou permaneçam estreitamente ligados nos núcleos dos átomos — parecem ser mesmo imortais. Como os guerreiros de *Highlander*, um velho filme dos anos 1980, com Christopher Lambert e Sean Connery, os prótons atravessam as vicissitudes do universo desde tempos imemoriais e parecem não ter qualquer preocupação quanto ao futuro.

Leves, mas indispensáveis

Para construir a matéria estável que conhecemos, faltam ainda dois ingredientes. O primeiro é a versão neutra do próton: o nêutron. Trata-se de um parente próximo, que se assemelha a ele em muitos aspectos. Também é formado por uma trinca de quarks leves, mas contém dois quarks *down* (carga $-\frac{1}{3}$ cada) e um quark *up* (carga $+\frac{2}{3}$). O resultado é, ele também, um objeto massivo, mas sem carga elétrica. A massa é semelhante à do próton, cerca de 1 GeV, igualmente dominada pela energia de ligação do campo gluônico que o mantém unido. Todavia, o fato de ser neutro cria uma minúscula mas importante diferença. O nêutron é ligeiramente mais pesado do que o próton, uma ninharia, 1,3 MeV, ou seja, 0,14% a mais, mas essa diferença se revelará fundamental.

Tendo uma massa ligeiramente superior, ele pode decair num próton e, obedecendo às leis de conservação, num elétron, que deve ser acompanhado por um neutrino. É um típico decaimento fraco com emissão de elétrons, similar ao que intrigara Enrico Fermi. Esse decaimento não ocorre se os neutrinos estiverem empacotados nos núcleos. No campo da força forte que mantém unidos os núcleos, o nêutron não consegue decair, mas, se não tiver esse escudo protetor, se torna instável e se desintegra depois de poucos minutos. Logo mais veremos o importante papel desse mecanismo na formação dos primeiros núcleos.

Prótons e nêutrons se formam continuamente, junto com suas respectivas antipartículas. Quando os dois opostos se encontram, aniquilam-se imediatamente em fótons, mas o ambiente é tão quente que continuam a surgir do vazio duplas de partículas/antipartículas para substituir as que acabaram de desaparecer. O processo se reproduz em toda parte, sem cessar, enquanto a temperatura permite. Nesse ciclo vertiginoso de nascimento e morte aquela pequena assimetria inicial entre matéria e antimatéria se amplia. Lenta, mas inexoravelmente, essa diferença infinitesimal de população faz com

que todos os antiprótons e antinêutrons desapareçam das gerações seguintes: o universo ruma para ser composto somente de matéria.

Depois, a temperatura desce abaixo do valor mínimo que permite extrair do vazio duplas de prótons e nêutrons e o processo se interrompe, assinalando o fim da era dos hádrons. Haverá, porém, energia suficiente para produzir duplas de elétrons/pósitrons que começarão a povoar o universo, percorrendo uma história semelhante à que os hádrons atravessaram.

Diferente dos prótons e nêutrons, os elétrons são muito leves. Pesam, de fato, quase 2 mil vezes menos que as trincas de quarks com que gostariam de estar acompanhados. Não são objetos compósitos e não existem partículas carregadas mais leves do que eles. Combinando a conservação da energia — pela qual um objeto só pode decair numa partícula mais leve — e a da carga — pela qual um elétron não pode decair em partículas neutras —, concluímos que os elétrons também devem ser estáveis.

Poucos instantes após o Big Bang, o universo se enche também com as mais leves partículas carregadas. Agora ele já contém todos os ingredientes essenciais para que matéria estável se forme, mas ainda é preciso ter um pouco de paciência.

Os mais tímidos e gentis partem primeiro

Desde que o universo se encheu de prótons e nêutrons, também aumentou a população de neutrinos. Eles são os mais leves dos léptons, tendo massas tão ínfimas que nos enganaram até poucos anos atrás. Só há pouco tempo, de fato, descobriu-se que sua massa é ligeiramente diferente de zero, embora ainda não tenhamos conseguido medi-la com precisão. Os neutrinos são léptons, portanto não sentem a força forte, e são neutros, por isso indiferentes à interação eletromagnética. A única força a que obedecem é a força fraca.* Isso os torna pouco invasivos e extremamente gentis. Os neutrinos são partículas muito discretas, que se movem com grande delicadeza, a ponto de atravessarem enormes quantidades de matéria sem serem notados nem produzirem qualquer mínima perturbação. Apesar disso, desempenham um papel fundamental nos equilíbrios que determinarão a composição material do universo.

Como vimos, os nêutrons são ligeiramente mais pesados do que os prótons; esse 0,14% é uma ninharia, como cem gramas de diferença de peso entre dois indivíduos de oitenta quilos. No entanto, se prótons e nêutrons precisam estar em equilíbrio térmico entre si, cada qual deve absorver metade da energia. Por causa da diferença de massa, a população de nêutrons será ligeiramente menor do que a de prótons. Enquanto a temperatura for muito alta, esse pequeno detalhe pode passar batido. Mas, à medida que diminui a energia térmica a ser distribuída, essa diferença se torna cada vez mais importante. E quem se encarrega de reduzir a população de nêutrons e aumentar a de prótons? As reações que fazem desaparecer os nêutrons, como o decaimento fraco, aquele que os transforma num próton, um elétron e um neutrino, e outras com efeitos semelhantes. Conclusão: o gás de neutrinos que participa desses processos acaba por compartilhar a mesma temperatura da população de fótons e do material hadrônico com que interage.

Esse processo dinâmico se interrompe no instante $t = 1$ segundo. A

esse ponto a temperatura se reduziu tanto que, para manter o equilíbrio térmico, já há seis prótons para cada nêutron e a situação está a ponto de desandar. A temperatura já diminui tão depressa que os neutrinos não conseguem mais manter a taxa de reação correta para distribuir a energia térmica entre prótons e nêutrons. Até um instante atrás, as diferentes espécies de partículas eram mantidas em equilíbrio. Agora é uma batalha inglória: após a derrota irremediável, os neutrinos abandonam o campo. Uma enorme população de partículas delicadas e gentis se separa da matéria primordial e começa a vagar sem rumo, levando apenas a lembrança da temperatura que compartilhava com todos os outros parceiros um instante antes de ocorrer a separação.

A partir daí, num universo já rarefeito demais para retê-los, os neutrinos escapam ao contato da matéria agregada e não conseguirão mais restabelecer aquele abraço primordial. Vaguarão indefinidamente, por bilhões de anos, assistindo à formação de estrelas e de galáxias, enormes distribuições de matéria que continuarão a atravessar com a enorme delicadeza de sempre, sem se fazer notar.

Sua história evolutiva será diferente, mas a lembrança da idade de ouro permanecerá para sempre, codificada de modo indelével na sua temperatura: aquela época quentíssima e mágica quando eles também brincavam de esconde-esconde com a matéria e se acoplavam livremente com uma multidão de partículas. Hoje, depois de 13,8 bilhões de anos, os velhíssimos neutrinos cosmológicos — como são chamados, para diferenciá-los dos novíssimos produzidos pelas estrelas — ainda continuam a vagar por todo lado. Segundo os nossos cálculos, cada centímetro cúbico do universo deveria conter seiscentos desses neutrinos cosmológicos, o que parece um bom número, mas os neutrinos têm uma interação tão tênue com a matéria que, até agora, ninguém conseguiu reunir provas da sua existência. Todavia, temos certeza de que ainda estão aqui ao nosso redor; temos também uma ideia da sua temperatura, que, devido à expansão do universo, hoje deve estar por volta de 1,95 Kelvin.

Por ora, a busca do sinal de neutrinos cosmológicos não trouxe

resultados significativos. Até o momento, encontraram-se apenas indícios da sua presença. No dia em que alguma nova técnica permitir revelá-los, poderemos estudar todas as características do fundo cósmico de neutrinos, teorizado por todos os modelos de Big Bang. Esse mar de partículas tímidas e gentis que ainda nos rodeia esconde segredos decisivos para entendermos o que realmente aconteceu quando o universo apagava a velinha do seu primeiro segundo de vida.

Eles formarão o coração das estrelas

Ao soar o primeiro minuto, já há sete prótons para cada nêutron e a densidade de energia baixou a ponto de poderem começar a se agregar entre si e formar os núcleos dos elementos mais leves.

É um momento fundamental, porque a densidade e a temperatura do universo são agora semelhantes às das estrelas. Prótons e nêutrons, envolvidos em choques altamente energéticos, podem reagir e formar um estado ligado da força forte. Quando um próton se funde com um nêutron, torna-se um núcleo de deutério; se dois núcleos de deutério se fundem entre si, nascem os primeiros núcleos de hélio. O elemento leve, cujo núcleo é formado por dois prótons e dois nêutrons, toma o nome do deus grego do Sol e, de fato, todo o hidrogênio que alimenta a imensa fornalha nuclear das estrelas acaba por se transformar em hélio.

Para formar o seu núcleo, dois núcleos de deutério precisam se fundir, um processo que ocorre com facilidade; o núcleo de quatro é altamente estável porque comporta uma altíssima energia de ligação para cada componente do núcleo. Todos os nêutrons livres residuais serão envolvidos nessa quadrilha e desaparecerão de cena. Por esse motivo, os núcleos de hélio constituirão em massa cerca de 24% do total. O restante, cerca de 75%, será formado por prótons que permanecerão “solteiros”, prontos para se transformar em átomos de hidrogênio tão logo as condições o permitam; aqui e ali, em traços, surgirão núcleos ligeiramente mais pesados, como o lítio e o berílio.

Haverá apenas três minutos para formar todos os núcleos primordiais do universo. Depois disso, a temperatura e a densidade não serão mais capazes de sustentar as reações nucleares. E isso é bom porque, se o processo continuasse por muito tempo, o universo iria consumir uma grande quantidade de prótons livres para construir núcleos mais pesados. Se durasse mesmo que apenas dez minutos, quase todo o hidrogênio desapareceria.

A abundância de hélio no universo é mais uma confirmação da

teoria do Big Bang. Esse elemento também é produzido no coração das estrelas, mas, sem o hélio primordial, as contas não fechariam. Nem com todas as estrelas do universo queimando hidrogênio por 14 bilhões de anos se conseguiria produzir a abundância de hélio que foi medida.

Os núcleos que então se criaram não se modificarão por bilhões de anos e ainda hoje constituem a maioria dos núcleos existentes no universo. A eles se acrescentarão, muito mais tarde, os núcleos dos elementos pesados da tabela periódica, que nascerão dentro das imensas fornalhas nucleares das estrelas.**

Cálculos teóricos estimaram que, se a diferença de massa entre prótons e nêutrons tivesse sido um pouco mais alta, as consequências teriam sido desastrosas. Um tiquinho de nada, o bater de asas de uma borboleta, e se produziria uma sequência de catástrofes. A diferença de massa mudaria significativamente a proporção entre prótons e nêutrons, e teríamos muito mais hélio e muito menos hidrogênio. Em suma, não haveria hidrogênio suficiente para iniciar as reações nucleares nas primeiras estrelas. Tudo ficaria envolvido, para sempre, na mais densa treva; o universo seria um espaço imenso, triste e escuro; sem estrelas, não haveria elementos pesados e faltaria matéria-prima para formar planetas rochosos; não existiriam as condições para se desenvolverem formas de vida elementares e depois alguém que, um dia, poderia contemplar suas grandezas.

Mas, por sorte, nada disso aconteceu no nosso universo. O equilibrista percorreu a corda bamba; parecia que ia cair de uma hora para outra, de um lado ou do outro, enquanto o público prendia a respiração receando a tragédia iminente — mas, com elegância e leveza, ele sempre recuperava o equilíbrio, e concluiu o espetáculo sob aplausos.

Ainda será preciso muito tempo até que a energia diminua o suficiente para permitir a formação dos primeiros átomos de hidrogênio. Será necessário esperar o momento em que a temperatura do universo for baixa o suficiente para conseguir romper a ligação eletromagnética que permitirá aos elétrons orbitarem ao redor dos prótons do núcleo. Mas, ao término do terceiro dia, progressos muito

importantes foram feitos, e apenas três minutos haviam se passado desde o início da grande aventura.

* Pelo fato de terem massa, os neutrinos também obedecem à gravidade, embora seja uma interação desprezível. (N. R. T.)

** Por “elementos pesados” aqui devemos entender qualquer um que não seja hidrogênio e hélio. (N. R. T.)

Quarto dia

E finalmente fez-se a luz

TRANSCORRIDOS OS PRIMEIROS MINUTOS, há uma mudança de ritmo, brutal e totalmente inesperada. A sequência paroxística de transformações que o universo atravessou se acalma de repente e tudo desacelera até quase se perder, num processo tão lento que parece extenuante. Mal acabamos de nos recuperar do *crescendo in prestissimo* com que a sinfonia se iniciara e ali estamos aguardando a passagem para um tempo mais regular e tranquilizador, quando tudo se precipita num *larghissimo* que parece não levar a nada.

Os processos são agora infinitamente mais lentos e as eras se alongam de forma desmesurada. Para assistir às transformações mais importantes, será preciso ter paciência. Depois da formação dos núcleos dos elementos mais leves, por centenas de milhares de anos não acontecerá nada de importante. Exceto que tudo continua a se expandir e a se resfriar.

Por um tempo que parece interminável, uma neblina escura enche o universo: um mundo opaco, feito de partículas elementares e núcleos, todos misturados entre si e mergulhados num mar de fótons e elétrons. Partículas desconhecidas de matéria escura participam em segredo da agitação que parece não ter fim. Nenhuma estrutura, nenhuma hierarquia, nenhuma organização. Nada de nada.

Nem mesmo um raio de luz consegue penetrar esse plasma tenebroso e inquietante. Elétrons e fótons perseguem uns aos outros, brincando de pega-pega. Continuamente absorvidos e logo depois expelidos do gás denso de elétrons que penetra em toda parte, os fótons não conseguem se desprender desse abraço sufocante.

O reino opaco das trevas irá durar centenas de milhares de anos. Não há ambientação *dark* que se possa comparar a ele. Nem o mais fantasioso conto de ficção científica consegue rivalizar com a atmosfera sombria daquele ambiente ilimitado, escuro e desesperador.

A chave da transformação chega, como sempre, da temperatura, que

diminui inevitavelmente com o aumento da expansão. Tudo muda quando o universo se aproxima dos 3 mil graus. É cerca da metade do valor que se mede na superfície do Sol, e, a esse ponto, a neblina opaca começa a se dissipar. Com a queda da temperatura diminui a energia cinética dos elétrons, que não conseguem mais romper as ligações com os prótons. A atração eletromagnética prevalece, e assim uma multidão de elétrons que vagam por toda parte, livres e selvagens, é domesticada pelo campo eletromagnético. Não serão mais livres, mas obrigados a orbitar de maneira estável em torno de um núcleo carregado.

Formam-se os primeiros átomos, sobretudo de hidrogênio e de hélio. Eles nascem em toda parte, o plasma se decompõe numa quantidade gigantesca de gás que absorve implacavelmente todos os núcleos e a população inteira de elétrons. A matéria começa a tomar uma forma neutra e estável. A novidade do momento é que os átomos permitirão construir estruturas cada vez mais complexas, que darão início a outras transformações.

Enquanto os elétrons se resignam ao fim da liberdade, presos como estão nas cascas confortáveis das órbitas atômicas, para os fótons é o fim de uma longa escravidão. Libertados de repente da ligação com a matéria, eles agora podem correr livres, e celebram essa novidade levando luz para todas as partes. De repente o universo fica transparente e um imenso brilho o atravessa.

A partir daí, os fótons esvoaçam livres, ricocheteando sobre todas as coisas. Com o tempo, ficarão cada vez menos energéticos e sua frequência diminuirá, sinais inequívocos de fraqueza. Mergulhados num banho térmico cada vez mais gelado, continuarão a oscilar cada vez mais devagar, mas portando a lembrança indelével da época em que a radiação dominava o mundo e a matéria organizada em átomos ainda não existia.

Em suma, finalmente faz-se a luz. Tal como reza a Bíblia, mas não aconteceu de imediato e não foi nada fácil. Acaba de terminar o quarto dia e 380 mil anos se passaram.

Um mundo sem luz e povoado por entidades escuras

Depois de um período de poucos minutos em que se formam os núcleos, por milhares de anos não acontece nada de relevante. A expansão e o resfriamento do universo continuam sem cessar; suas dimensões logo superam os mil anos-luz e ele continua a crescer, enquanto a temperatura ainda pode ser medida em milhões de graus. Um objeto enorme, quentíssimo e escuro. Um mundo infernal, sem luz e povoado por entidades obscuras.

Ele é preenchido e envolvido por uma espécie de neblina opaca e impalpável. Um aerossol de elétrons, fótons e outras partículas elementares cerca prótons e núcleos de hélio e dos raros elementos leves que se formaram.

A temperatura ainda é alta demais para que a matéria possa se agregar por atração eletromagnética. Prótons e núcleos de hélio, carregados positivamente, tentam, sem sucesso, ligar-se aos elétrons que esvoaçam ao redor. A agitação térmica torna os elétrons tão energéticos que, mesmo quando a ligação se forma, rompe-se numa fração de segundo. A força de atração é fraca demais para competir com a furiosa energia cinética que os leva para longe. Será preciso ter paciência e esperar que a temperatura caia drasticamente antes de celebrar o grande triunfo das ligações eletromagnéticas.

Todas as partículas materiais viajam imersas num banho de fótons com a mesma temperatura do sistema, mas não há traços de luz. A densidade da estranha neblina que envolve o universo é tão elevada que todo fóton é absorvido sem cessar e logo a seguir emitido de volta.

O abraço dos fótons com a matéria, sobretudo com os elétrons, é sufocante e não permite nenhuma liberdade; o caminho livre médio de que dispõem cobre distâncias infinitesimais. A cada vez que são emitidos por um elétron que entra em colisão ou é acelerado, eles partem na esperança de viajar longas distâncias e correr rumo ao infinito, mas logo são engolidos por alguma outra coisa; sem que

tenham tempo para refletir sobre seu triste destino, o ciclo infinito de emissão e absorção recomeça.

Na escuridão desse estranho mundo se ocultam formas ainda mais misteriosas de matéria. Até agora, pouco falamos sobre elas porque não sabemos exatamente o que são. Assim, é difícil situá-las de maneira precisa na sequência de eventos que nos trouxe até aqui. Mas, na época escura da opacidade, já está presente no universo um grande componente de matéria escura.

A hipótese de que o universo contém grandes quantidades de matéria não luminosa foi apresentada pela primeira vez em 1933 por Fritz Zwicky, um astrofísico suíço dotado de grande inventividade e um senso de humor um tanto desbocado. Conta-se que, quando outros cientistas se mostravam céticos diante das suas teorias, ele os insultava chamando-os de “canalhas esféricos”. Diante da surpresa do interlocutor, Zwicky explicava que eram uns filhos da mãe por qualquer lado que se olhasse.

Trabalhando no aglomerado da Cabeleira de Berenice, que hoje sabemos conter mais de mil galáxias, Zwicky notou que havia algo estranho na velocidade das que ficavam mais próximas da borda. Não havia como explicar o movimento dessas galáxias com a distribuição da massa visível obtida pela luz. Os efeitos da gravidade não bastavam para explicar as órbitas tão rápidas das galáxias mais externas. Era como se o volume do aglomerado abrigasse muito mais matéria. Zwicky calculou que, para explicar esse comportamento, seria necessária uma massa muito superior, que chamou de matéria escura porque não fazia luz e ficava escondida na escuridão do cosmo. Por muito tempo sua teoria foi rispidamente contestada, e o número dos “filhos da mãe esféricos” não dava sinais de diminuir.

O que mudou a situação foi o trabalho de Vera Rubin, uma astrônoma norte-americana herdeira de Henrietta Leavitt, que inventara o método das cefeidas para medir as grandes distâncias. Rubin era uma das poucas astrônomas que, ainda nos anos 1960, tinham acesso aos grandes telescópios. Ela lembrou que, quando começou a trabalhar no Monte Palomar, teve de organizar sozinha um banheiro feminino, pois os construtores do observatório mais moderno

do mundo não haviam previsto que alguma astrônoma pudesse um dia trabalhar ali.

Com grande sistematicidade, Rubin mediu a velocidade de rotação das estrelas nas galáxias em espiral. Começou com Andrômeda e constatou que o material mais periférico orbitava numa velocidade comparável à das estrelas internas: o contrário do que se esperava, visto que a atração gravitacional produzida somente pela matéria luminosa comportaria uma velocidade muito menor. Observações análogas foram efetuadas para o movimento de galáxias inteiras dentro dos aglomerados, e a conclusão foi inevitável: o extravagante Zwicky tinha razão. Os cálculos de Rubin demonstraram que a quantidade de matéria escura devia ser pelo menos cinco vezes superior à da luminosa. As galáxias em espiral deviam estar imersas num gigantesco halo de matéria totalmente desconhecida, sem o qual teriam se desagregado em tempos imemoriais.

Na segunda metade do século XX, as evidências experimentais da presença de matéria escura se tornarão cada vez mais numerosas. Diferentes métodos de investigação levarão, todos eles, ao mesmo resultado: teremos evidência indireta de matéria escura quando conseguirmos medir as velocidades de rotação da imensa nuvem de hidrogênio que cerca muitas galáxias e também quando se multiplicarem as observações a partir de lentes gravitacionais. Esse fenômeno também fora previsto por Zwicky, que o descreveu como consequência necessária da relatividade geral. O inventivo astrônomo suíço foi o primeiro a entender que uma grande concentração de massa poderia deformar o espaço-tempo a ponto de criar os mesmos efeitos óticos de uma lente. Os raios luminosos que atravessassem a zona deformada poderiam, ao ser desviados, produzir incríveis artefatos. A mesma estrela ou a mesma galáxia podia aparecer duas, três, quatro vezes na imagem captada pelo telescópio.

Esses fantasmas, essas imagens duplicadas que permitiriam pensar que o sujeito bebeu demais e passou a enxergar tudo dobrado serão, na verdade, novos instrumentos de medida que nos possibilitarão ver formas de matéria de outra maneira invisíveis. E elas também confirmam a abundância de matéria escura no universo.

Apesar das confirmações experimentais cada vez mais convincentes, e apesar de ninguém ter ousado questionar a relevância da sua descoberta, o comitê do Nobel, por razões totalmente incompreensíveis, nunca concedeu a Vera Rubin o prêmio que ela merecia.

Hoje sabemos que cerca de um quarto do universo é feito de matéria escura, mas ninguém sabe ainda o que ela é exatamente. Alguns apresentaram a hipótese de ser um gás de neutrinos, mas, sendo eles leves demais, não se conseguiriam explicar os efeitos gravitacionais observáveis. Se as teorias supersimétricas estiverem corretas, haveria famílias inteiras de novas partículas, muito pesadas e com estranhos nomes, que poderiam explicar a matéria escura. Mas, como até hoje não se descobriu nenhuma partícula supersimétrica, a hipótese de que o halo cercando as galáxias seja feito de gravitinos ou de neutralinos se mostra por ora totalmente arbitrária.

A caçada a todo tipo de partículas pesadas e fracamente interagentes que poderiam explicar o mistério prossegue. Organizam-se experimentos cada vez mais sofisticados em grandes laboratórios subterrâneos, lançam-se aparatos em órbita ao redor da Terra ou se procuram partículas nos aceleradores mais potentes, mas até agora sem resultados.

Alguns pensam que, em vez de procurar objetos pesados, seria preciso concentrar a atenção nas partículas neutras e ultraleves, chamadas *áxions*. O nome foi cunhado pelo ganhador do Nobel Frank Wilczek, que o tomou de empréstimo de um conhecido detergente dos anos 1950, presumivelmente convencido de que a nova partícula faria uma limpa geral. Os áxions seriam corpúsculos evanescentes, levíssimos, em tese capazes de explicar minúsculas anomalias nos decaimentos de partículas conhecidas e de interagir com a matéria comum quase exclusivamente através da gravidade. Mas também para essa hipótese ainda não há confirmação, e a busca continua.

Qualquer que seja a solução do quebra-cabeça, a matéria escura certamente entrou em campo numa das fases anteriores, talvez logo após a fase inflacionária. Resfriando-se como tudo mais, começou a demonstrar minúsculas diferenças de temperatura na sua distribuição

de energia, de início perfeitamente homogênea. Essas diferenças nascem das flutuações quânticas primordiais agigantadas pela expansão inflacionária e pela interação com o mar turbulento de fótons que se agita em toda parte.

Agora, na época da opacidade, nós a imaginamos como uma espécie de rede fina; uma teia negra, tênue, mas cerradíssima, que se mescla e, ao mesmo tempo, envolve tudo. Por ora, a sua distribuição espacial não desempenha um papel relevante na dinâmica desse plasma escuro, mas logo se ativará um mecanismo de concentração que levará a matéria a se adensar nos pontos onde há minúsculas flutuações de energia. Os nós mais densos dessa fina teia serão a trama sobre a qual o nosso mundo material começará a se adensar. Ali nascerão as primeiras estrelas e florescerão as sementes das galáxias.

Soa a hora da matéria

O tenebroso reino da opacidade durou tanto tempo que quase parecia não existir nada capaz de desestabilizar os equilíbrios.

Mas, quando a temperatura baixou para menos de 3 mil graus, aconteceu o irreparável. Aquele valor assinalava um limite; ultrapassado esse limite, teria início uma sequência de fenômenos irreversíveis e concatenados. Já se passaram centenas de milhares de anos desde o Big Bang e até aqui os componentes da matéria ficaram totalmente imersos no mar de fótons da radiação, partilhando sua temperatura. O equilíbrio térmico estava garantido pelas interações contínuas entre os dois, que haviam se tornado frenéticas devido à alta densidade. Com a expansão, porém, chega-se ao ponto em que as coisas mudam de repente.

Tudo está relacionado com uma diferença de comportamento entre radiação e matéria que vale a pena ressaltar. Em um universo que se expande, o volume cresce proporcionalmente ao cubo do raio; quando o raio dobra de tamanho, o volume é multiplicado por oito (dois ao cubo). A densidade de matéria e de energia, portanto, diminui com o aumento do volume, em proporção inversa ao cubo do raio. Para os fótons da radiação, porém, entra em jogo um mecanismo adicional que reduz ainda mais sua densidade. Com o espaço que se estende, aumenta o seu comprimento de onda e, portanto, diminui a sua energia. Em suma, a densidade de energia devida à radiação diminui mais depressa do que a densidade de energia devida à matéria. Com a duplicação do raio, a da radiação diminui dezesseis vezes, enquanto a devida à matéria se reduz somente oito vezes.

No longo prazo, o equilíbrio se rompe de maneira catastrófica. Isso ocorre 380 mil anos depois do Big Bang. Nesse momento a radiação se separa da matéria e seus destinos seguirão caminhos totalmente diferentes. A densidade dos fótons diminuirá a ponto de diminuir cada vez mais as interações com elétrons e prótons, e o equilíbrio térmico se romperá. Começa um longo declínio que levará a radiação,

que até aquele momento dominava o mundo, a ter peso e importância cada vez menores, até se tornar um componente irrelevante da massa total do universo.

Logo a temperatura cairá ao ponto em que a energia potencial da ligação eletromagnética entre elétrons e prótons irá superar a energia cinética da agitação térmica. Os elétrons, assim, poderão se ligar aos prótons, e nascerão os primeiros átomos, principalmente hidrogênio e hélio, depois lítio, berílio e alguns outros componentes leves. Libertados das interações contínuas com os fótons, os átomos encontrarão sua estabilidade.

Da nova organização nasce matéria neutra, que, portanto, interagirá cada vez menos com a radiação. Uma imensa e rarefeita nuvem de hidrogênio e hélio ocupará o universo inteiro, e é a sua evolução que determinará o resto da história. Depois de milênios em que o universo foi dominado pela radiação, a dramática separação assinala o início da era da matéria. Esse novo período levará à formação de galáxias, estrelas e planetas até o desenvolvimento de formas materiais complexas, que serão os organismos vivos. Um novo domínio se instaura, um reino que durará bilhões de anos e cujo fim ainda não vislumbramos.

Quanto aos fótons, desfeitos definitivamente os vínculos que os aprisionavam, libertados daquele abraço que parecia inextricável, eles podem enfim viajar livres por todas as partes. O mar de fótons se retira da matéria, mas ocupa todos os espaços que os átomos recém-formados deixaram livres, trazendo uma forma nova de energia. O universo se torna transparente, permitindo à luz atravessá-lo de ponta a ponta. É um brilho diferente da luz branca a que estamos acostumados; nossos olhos, se por algum absurdo estivéssemos ali assistindo, veriam uma espécie de raio avermelhado. É uma luz quente que vai além do vermelho-escuro e assinala o limite superior dos comprimentos de onda visíveis pelos seres humanos. É muito parecida, curiosamente, com a que vemos quando ativamos o controle remoto da tevê para mudar de canal. Mas não há nenhuma dúvida: é luz, o universo é transparente e atravessado pela luz.

As mensagens secretas escondidas no muro

Duas vezes por ano, removem-se do Muro das Lamentações de Jerusalém, o local mais sagrado para a religião judaica, todos os bilhetes que os fiéis, segundo um antigo costume, inserem nos interstícios entre as pedras. Servindo-se de pequenas ferramentas, um grupo de funcionários extrai com cuidado e delicadeza os papeizinhos enfiados nas pequenas fendas, para deixar espaço aos que virão substituí-los nos meses seguintes. Os bilhetes não são jogados fora, mas sepultados no cemitério judaico do Monte das Oliveiras, uma pequena colina não distante da Cidade Antiga.

O Muro Ocidental, como é chamado em hebraico, foi edificado por Herodes, o Grande, rei da Judeia durante a ocupação romana. Os trabalhos começaram em 19 a.C. e terminaram em 64 d.C. com a intenção de consolidar a colina na qual se elevava o Segundo Templo, o local mais sagrado para a religião hebraica. Em 70 d.C., as tropas de Tito profanaram o local sagrado e destruíram o templo, que nunca mais foi reconstruído. Foi o fim de um mundo, o apocalipse. O único resquício da construção original foi o muro de contenção construído por Herodes que, desde então, é venerado por todos os judeus como local de oração e, ao mesmo tempo, de lembrança de um dos acontecimentos mais traumáticos e dolorosos da sua história.

Faz séculos que as pessoas vão ao muro para chorar e rezar, lembrando a terrível desgraça que levou à diáspora do antigo povo. Foram os habitantes de Jerusalém que lhe deram o nome de Muro das Lamentações, porque os peregrinos não conseguiam conter a dor e a emoção que sentiam tocando as antigas pedras, nas quais apoiavam as mãos e a testa para rezar.

A partir da Idade Média, era prática comum que os peregrinos deixassem sinais de sua visita, inscrições, entalhes ou mesmo a marca das mãos molhadas em cal. Com o passar do tempo, esses costumes, que ameaçavam deteriorar irremediavelmente as antigas pedras, foram proibidos, e se instaurou a tradição de deixar minúsculas

folhinhas de papel nos interstícios. Ela continua até os nossos dias, mas agora os visitantes são tantos que, de tempos em tempos, é necessário limpar as pequenas cavidades, para deixar lugar para os bilhetes que serão depositados pelos novos visitantes. Esses bilhetinhos contêm orações ou pedidos de ajuda. São invocações muito pessoais, que frequentemente escondem sofrimentos e segredos das famílias de quem os coloca. Nas pequenas fendas se acumulam e se ocultam esperanças e dores de inumeráveis gerações de fiéis.

Algo parecido acontece em outro tipo de muro, muito menos material e certamente mais impalpável que o Muro das Lamentações, mas também imensamente mais antigo. Estamos falando do muro da radiação cósmica de fundo.

A luz que se separou da matéria naquela época tão distante manteve a lembrança da traumática experiência por bilhões de anos. Os fótons primordiais, os primeiros que sentiram a embriaguez da liberdade, ainda estão ao nosso redor e enchem o cosmo vindos de todas as direções. Com o passar do tempo, sua temperatura despencou de 3 mil Kelvin para pouco menos de três; desde então, as dimensões do universo aumentaram mais de mil vezes e a distensão espaço-temporal dilatou enormemente o seu comprimento de onda. Agora eles não oscilam mais nas frequências do infravermelho, mas entoam um canto muito mais grave, quase inaudível, terminando na região das micro-ondas. Sim, é praticamente a mesma radiação que usamos na cozinha para descongelar alguma coisa. E de fato, o universo todo, não podendo trocar energia com nenhum outro sistema, comporta-se como um gigantesco forno de micro-ondas, um enorme corpo negro que segue as mesmas leis.

O maravilhoso é que no mar dos fótons da radiação cósmica de fundo ficaram impressos, como os fósseis que encontramos no interior de algumas rochas, os sinais indeléveis daquela época. O último contato com a matéria, um instante antes da separação, deixou traços inequívocos, que se atenuaram gradualmente mas ainda permitem obter informações preciosas, permitindo-nos remontar à época em que matéria e radiação andavam de braços dados; aliás, muito antes disso.

O sonho de todo cientista é poder enxergar tão retroativamente que

consiga assistir ao vivo, pelo telescópio, o nascimento do universo, o Big Bang. Usando a luz, os fótons da radiação eletromagnética, esse sonho é impossível porque, chegando a 380 mil anos depois do início, há essa espécie de muro, uma barreira intransponível que não permite ver diretamente o que aconteceu antes. Mas, tal como acontece com o Muro das Lamentações, nas pequenas fendas desse muro, nos pequenos interstícios que se entreveem logo atrás da aparente solidez, encontram-se informações preciosas. Medindo-as e interpretando-as, os cientistas conseguiram entender os segredos do momento em que começou o domínio da matéria e, junto com esses segredos, coletaram informações de valor inestimável sobre tudo o que ocorreu antes, chegando até a roçar o instante da primeira grande transformação, aquela marcada pela inflação cósmica.

Uma narrativa muito detalhada

A radiação cósmica de fundo é a nossa mais preciosa fonte de informações sobre a origem do universo e suas transformações.

A partir da descoberta de Penzias e Wilson em 1964, experimentos cada vez mais sofisticados produziram uma quantidade impressionante de resultados. A radiação cósmica de fundo pode ser considerada uma espécie de mina cujos filões, extremamente ricos, já nos forneceram uma enorme quantidade de dados. Mas ainda resta muito a escavar, e sabemos que existem veios ocultos, até hoje inexplorados, que contêm informações muito preciosas.

Reconstruindo os fótons de baixa energia que a compõem, vindos de todas as direções, é possível obter uma imagem da abóbada celeste inteira, de onde se pode extrair uma notável quantidade de informações.

A primeira característica é a extrema homogeneidade da distribuição de temperatura. A radiação cósmica de fundo tem um espectro de corpo negro ideal e é tão tênue que a temperatura do universo fica em 2,72 graus acima do zero absoluto. A hipótese de que o universo se comporta como um imenso forno ideal, perfeitamente isolado, é correta. Os fótons primordiais, que depois da separação da matéria continuaram a se resfriar por bilhões de anos, ainda lembram que estiveram em equilíbrio térmico com ela durante 380 mil anos. O fluxo de radiação é uniforme em todas as direções, mas há minúsculas áreas caracterizadas por pequeníssimas diferenças de temperatura que mostram uma estrutura muito característica.

Essas irregularidades ou anisotropias na distribuição de temperaturas foram estudadas nos mínimos detalhes, porque contêm informações preciosas sobre o que ocorreu nos primeiros instantes de vida do universo. São como os bilhetinhos nas frestas do Muro das Lamentações, contam-nos segredos e histórias longínquas. São as pegadas, deixadas na radiação, das flutuações quânticas que encrespavam a minúscula bolha surgida do vazio, antes que a inflação

a estufasse enormemente. Essas porções de espaço, antes infinitesimais, foram expandidas para dimensões gigantescas e cobrem a área de aglomerados inteiros de galáxias. No céu psicodélico reconstruído pelos experimentos mais modernos, como o do satélite Planck, que concluiu sua missão em 2013, pode-se ver o reino da mecânica quântica expandido à escala das galáxias.

O velho preconceito segundo o qual a teoria de Planck e Heisenberg explicaria apenas os fenômenos do infinitamente pequeno está enfim superado pelos novos dados observacionais. A radiação cósmica de fundo constitui um mapa claro e muito legível da densidade de matéria no momento da separação. Qualquer mínima diferença local de temperatura pode ser atribuída a uma diferença da matéria no instante em que os fótons sofreram a última difusão, logo antes de se separarem definitivamente. Ela nos permite ver a enorme teia cósmica ao redor da qual se construíram as primeiras sementes das galáxias.

Analizando em detalhe a distribuição das pequenas inomogeneidades e suas dimensões, é possível obter informações preciosas sobre a geometria do universo.

Um universo fechado ou aberto deformaria de maneira característica a imagem de objetos tão distantes, porque os fótons percorreriam trajetórias convergentes ou divergentes. Das dimensões e distribuição angular dessas inomogeneidades obtemos uma confirmação inequívoca de que o nosso universo é plano. Isso implica que a densidade de matéria está muito próxima da densidade crítica. A radiação cósmica de fundo nos dá, portanto, confirmações adicionais da presença de matéria e energia escura em proporções que hoje podem ser estabelecidas com precisão. Os dados mais recentes nos dizem que o universo é composto de 68% de energia escura, 27% de matéria escura e somente 5% de matéria comum.

Simulando depois os efeitos de deformação da imagem, devidos à matéria escura que curva o espaço-tempo, é possível reconstruir um mapa da sua distribuição. O efeito de lente gravitacional nos permite obter, a partir da radiação cósmica de fundo, uma imagem tridimensional da distribuição de matéria escura no universo. Conhecer em detalhe como essa fina teia cósmica se organiza nos

permite entender melhor os mecanismos que levaram à formação das primeiras estrelas e das primeiras galáxias.

A análise quantitativa da distribuição de flutuações de temperatura primordiais na radiação cósmica de fundo constitui uma das confirmações mais sólidas da inflação. Contudo, esperamos logo conseguir extrair resultados novos e mais completos das medições da sua polarização.

A polarização de uma radiação indica se as ondas eletromagnéticas vibram numa direção preferencial. É o mesmo mecanismo que produziu o sucesso dos óculos de sol com lentes polarizadas. Os reflexos do Sol sobre a superfície da água, por exemplo, são compostos de luz polarizada, isto é, o campo eletromagnético do raio refletido oscila somente no plano horizontal. Se usarmos um filtro vertical, lâminas finas que deixam passar apenas as ondas que oscilam na vertical, os reflexos são absorvidos. As lentes polarizadas são lentes de vidro ou plástico no interior das quais são amalgamados esses filtros que absorvem as reverberações responsáveis por grande parte do ofuscamento e do incômodo visual.

A radiação cósmica de fundo fica polarizada pela interação com o meio material e, portanto, traz consigo informações adicionais sobre a história do cosmo. Essa característica nos diz algo a mais sobre o último contato entre radiação e matéria. Formas de polarização linear podem estar ligadas à densidade da matéria, fornecendo-nos assim outros detalhes, por exemplo, sobre a distribuição da matéria escura no momento da separação.

Os experimentos mais modernos conseguiram medir essa polarização fraca, obtendo importantes resultados. A polarização mais procurada, até agora sem sucesso, é de tipo circular e teria sido produzida pela interação dos fótons com as ondas gravitacionais primordiais. É um efeito ainda mais sutil, uma polarização fraquíssima e, além do mais, mascarada por fenômenos semelhantes produzidos pela poeira intergaláctica. Um verdadeiro pesadelo para os físicos experimentais.

Se conseguirmos identificar o sinal deixado pelo último encontro entre fótons e ondas gravitacionais, ele representaria uma marca

inconfundível da inflação. Essa estranha polarização, que estamos procurando identificar há décadas, poderia ser a chave para abrir o cofre que ainda guarda os muitos segredos da fase inflacionária. Permitiria, por exemplo, determinar a escala de energia na qual as flutuações iniciais foram geradas nas primeiríssimas frações de segundo depois do Big Bang.

Para entender melhor a inflação, há outras flechas na aljava dos cientistas que poderiam atingir o alvo. Para discriminar as diversas variantes de campos escalares que podem tê-la desencadeado, considera-se observar com precisão ainda maior as estruturas em grande escala das galáxias primordiais. Sua distribuição deveria seguir o traçado das minúsculas flutuações do campo de ínflaton que ficaram impressas no fundo cósmico de radiação pela expansão inflacionária. Será preciso reunir a amostragem mais ampla possível de galáxias primordiais, isto é, observar as galáxias mais distantes quando ainda estavam em formação, e é isso o que uma nova geração de experimentos que logo serão lançados no espaço pretende fazer. Com a ajuda dos neutrinos cosmológicos e das ondas gravitacionais fósseis, que mais cedo ou mais tarde serão identificados, os segredos da inflação devem ser desvendados em breve, desde que não haja a surpresa de algum novo escalar nos dados do LHC.

Agora chegamos ao fim do quarto dia, passaram-se 380 mil anos do Big Bang e o universo está entrando numa fase muito interessante: uma cadeia de transformações da qual nascerá a primeira estrela. Uma parte da matéria está para se organizar numa forma nova, dinâmica e turbulenta, que iluminará o universo, tornando-o um espetáculo maravilhoso também para os nossos olhos, de sensibilidade tão limitada. Das enormes fornalhas que se acenderão no coração das estrelas nascerão os elementos pesados destinados a produzir outras formas de agregação, mais pacíficas e menos turbulentas: os planetas. Aqui se traduzirão em rochas, ar, água, plantas e animais, inclusive nós. Se podemos nos felicitar por sermos, literalmente, filhos das estrelas, devemos aceitar que somos bisnetos daquelas flutuações quânticas, expandidas pela inflação, sem as quais as primeiras estrelas não poderiam ter se agregado.

Quinto dia

A primeira estrela se acende

A ERA DA MATÉRIA APENAS começou e os ritmos das transformações arrefecem cada vez mais. Até aqui a gravidade, a interação mais fraca de todas, ficou um pouco de lado. Agora sua presença começa a se fazer sentir, no início de maneira delicada, quase imperceptível, mas ela logo ocupará com destaque o centro da cena.

Com a dissociação entre matéria e radiação, as coisas se tornam mais claras. A radiação se distribui uniformemente em todo o espaço disponível e o universo se torna transparente à luz. Mas o brilho que marcou a última metamorfose já se desvaneceu, desde que a expansão ampliou os comprimentos de onda além do limiar do visível. O universo está repleto de radiação e continua muito quente, mas caiu outra vez na escuridão mais total.

A matéria se move devagar, sob a ação da gravidade, e se estabilizou em átomos que formam uma imensa nuvem de hidrogênio e hélio. Protegida pela escuridão, uma enorme teia de matéria escura, já muito mais abundante do que a matéria comum, envolve o cosmo.

As pequenas anomalias da sua densidade, resultado das flutuações quânticas anteriores à inflação, expandiram-se imensamente, e agora, ao redor dessas zonas, alguma coisa está acontecendo. Se pudéssemos ver além do véu escuro que esconde tudo, assistiríamos a um lento mas inexorável adensamento de gás. Nessas regiões irregulares, de contornos franjados, há uma densidade levemente superior à média, e a força gravitacional decorrente atrai mais matéria. Constroem-se assim aglomerados cada vez maiores, e, enquanto isso ocorre, a distribuição de matéria adquire uma simetria esférica cada vez mais evidente.

O processo é muito lento, levará centenas de milhões de anos. Mas, embora a velocidade com que avança seja quase imperceptível, o passo da gravidade não deixa escapatória: ninguém conseguirá mais impedir o seu domínio sobre o universo material que acabou de se

formar.

Em torno das irregularidades adensam-se enormes concentrações de gás; começa-se a distinguir, aqui e ali, corpos esféricos de massa enorme, pelo menos cem vezes mais pesados que o Sol. A força de gravidade que se desenvolve a partir deles é monstruosa: comprime o gás, empurrando-o cada vez mais violentamente em direção ao centro do sistema, que se aquece e ioniza o hidrogênio. O imenso corpo celeste é agora formado por gás nas camadas externas e por um plasma quantíssimo no seu núcleo mais interno. O aperto implacável da gravidade faz o material alcançar temperaturas de dezenas de milhões de graus que desencadeiam a fusão nuclear entre núcleos de hidrogênio e seus isótopos. A reação produz uma imensa quantidade de calor, que se propaga por toda parte sob a forma de um fluxo incessante de fótons e neutrinos.

Um raio ofuscante de luz visível se acende na escuridão mais profunda. O universo ainda está envolvido pelas trevas, mas a nova luz começa a sulcar as enormes distâncias e logo será acompanhada por uma miríade de outras fontes luminosas que se acenderão em todas as partes.

Chegados ao quinto dia, nasceu a primeira estrela e se passaram 200 milhões de anos.

Saímos por ali, a rever estrelas

Não há verso mais poderoso do que o escolhido por Dante para encerrar os cantos do *Inferno*. O hendecassílabo é um destilado daquele sentimento de consolação que a visão do céu inspira na humanidade desde a noite dos tempos. A mesma disposição de espírito que irá sugerir a Leopardi um início igualmente extraordinário: “Vagas estrelas da Ursa, eu não acreditava/ voltar e poder novamente contemplá-las/ Brilhando e iluminando o jardim do meu pai”.

Depois de atravessar os medos e riscos do mundo tenebroso dos infernos, na escuridão que esconde angústias e carnes atormentadas, ou no ápice de uma amarga reflexão sobre uma existência diferente da que se imaginara, rever as estrelas, imóveis no firmamento, acalma as ansiedades e tranquiliza. Com sua aparente persistência e imutabilidade, o céu estrelado nos protege do medo das mudanças e catástrofes e nos conforta, afagando nosso infantil desejo de estabilidade.

Contudo, se observamos de perto ou investigamos os mecanismos que agitam as camadas mais internas desses astros maravilhosos, nos veremos diante de processos materiais de uma violência tremenda; é difícil encontrar sistemas mais instáveis e turbulentos.

Uma estrela como o nosso Sol nos parece gigantesca, com um raio cem vezes maior do que o da Terra, a qual, em comparação, se torna um pontinho insignificante. Ele, contudo, é apenas uma anã amarela, uma estrela de tamanho médio-pequeno, uma das tantas que abundam na nossa galáxia. Nem se compara aos gigantes da categoria, como a estrela maior do sistema de Eta Carinae, um monstro que tem uma massa quase cem vezes superior. Mas, como veremos, ter dimensões reduzidas no mundo das estrelas traz importantes vantagens evolutivas.

O Sol é uma esfera quase perfeita de plasma incandescente, composta na maior parte de hidrogênio e hélio, dotada de campo magnético, que dá uma volta completa em torno de si mesma a cada

25 dias. A temperatura na superfície se aproxima dos 6 mil graus, mas supera 1 milhão de graus assim que se penetra nas camadas mais internas.

A origem dessa enorme quantidade de energia está nos mecanismos que se agitam no coração da grande bola de gás ionizado. A imensa concentração de matéria produz uma gigantesca atração gravitacional, que comprime as camadas de plasma; as temperaturas aumentam cada vez mais à medida que nos aproximamos das camadas mais profundas; no coração da estrela superam os 15 milhões de graus, e nesse ambiente se desencadeiam reações de fusão termonuclear.

A fusão de dois núcleos leves é um processo que produz uma enorme quantidade de energia. O estado ligado final é mais leve que os dois núcleos de partida, e a diferença de massa se transforma na energia que é desenvolvida pela reação.

O problema é que fundir dois prótons ou núcleos de hidrogênio, por exemplo, não é nada simples. Tendo ambos carga positiva, eles se repelem violentamente quando se tenta colocá-los em contato, isto é, à distância em que a força de atração forte conseguiria prevalecer sobre a repulsão eletromagnética. Só é possível fazer isso aproveitando as colisões que derivam de condições extremas de temperatura e pressão.

No interior do Sol, sob a pressão da gigantesca força de gravidade, essas condições se realizam, ou, melhor dizendo, são favoráveis o suficiente para desencadear o fenômeno. A maioria dos prótons não participa da fusão, a não ser por uma infinitesimal fração que, por efeito da flutuação quântica, consegue superar a barreira de potencial. O fenômeno envolve uma massa de hidrogênio bastante elevada, que permite a produção de uma grande quantidade de energia, mas, em todo caso, pequena o suficiente para permitir à estrela brilhar por bilhões de anos.

No coração do Sol, núcleos de hidrogênio e seus isótopos, o deutério e o trítio, se fundem para formar núcleos de hélio. A energia liberada pelas reações se apresenta na forma de neutrinos e fótons de alta energia. Os primeiros atravessam sem problemas a enorme esfera incandescente e voam livres para alcançar os recantos mais remotos do universo. Os fótons adorariam fazer a mesma coisa, mas ficam

encerrados numa prisão que parece nunca ter fim. Atravessando a matéria ultradensa que os cerca, eles entram em colisão e são continuamente absorvidos e reemitidos pelo material que encontram no caminho. Desse modo, sua energia se reduz, e sua direção inicial se perde. Eles vagarão nesse labirinto infernal por milhões de anos, porque o ciclo se repetirá infinitas vezes antes que consigam escapar desse aperto. Até que, um dia, quando já tiverem perdido todas as esperanças, emergirão quase por acaso da superfície e finalmente estarão livres. Daqui por diante, poderão percorrer distâncias intermináveis: voarão longe, à velocidade da luz, para esquentar e iluminar tudo que os rodeia.

A reação termonuclear mantém o sistema inteiro num equilíbrio precário. Na profundidade do Sol se desenrola uma luta sem igual entre gravidade e força forte. A mais fraca das interações, cujos efeitos foram por muito tempo ignorados, vai à forra e chama para a briga a primeira da classe, aquela interação forte que a olhava de nariz empinado. Depois que mandou reunir todo o hidrogênio que vagava nos arredores e o recolheu e organizou na perfeita geometria esférica do Sol, sabe que é invencível e pode lançar seu grito de guerra.

Uma pressão terrível esmaga a matéria e tenta fragmentá-la nos seus componentes elementares. Os prótons confinados e obrigados à fusão escapam momentaneamente ao seu destino; aquela enorme quantidade de calor que se liberta com a formação dos núcleos de hélio tende a fazer o plasma expandir e se opõe à prensa da gravidade. Cria-se uma situação de equilíbrio, intrinsecamente instável, porque, mais cedo ou mais tarde, o hidrogênio se esgotará, mas a batalha poderá durar bilhões de anos.

O mais turbulento dos ambientes, devastado por correntes convectivas, imensos vórtices e jatos de plasma gigantescos, parece-nos, visto a certa distância, um astro benéfico e tranquilizador, e todos os povos lhe entoarão louvores como pilar da ordem que rege o mundo.

Por milênios ignoraremos a luta furiosa que se desenvolve no seu interior. É um embate épico, mas de resultado sabido, pois já se conhece o nome do vencedor e se sabe que a derrocada do adversário,

quando a derrota chegar, será desastrosa.

O embate entre Zeus e os deuses do Olimpo contra os titãs guiados por Cronos durou dez anos. Com a ajuda dos raios, as novas armas forjadas pelos ciclopes, e o arremesso de pedras dos hecatônquiros, seus aliados, gigantes de cem mãos, Zeus derrotou os titãs e os lançou na escuridão profunda do Tártaro. O combate mortal entre gravidade e força nuclear forte, que tem como campo de batalha o centro do Sol, irá durar muito mais tempo. Serão necessários 10 bilhões de anos para consumir o hidrogênio disponível, mas, quando isso acontecer, nada poderá mais se opor à gravidade e será a catástrofe.

A era épica das megaestrelas

As primeiras estrelas que brilharam no universo, 200 milhões de anos depois do Big Bang, eram astros muito peculiares. Acredita-se que eram gigantescas, de cem a duzentas vezes maiores do que o Sol, e por isso são chamadas de *megaestrelas*. Elas se formaram na escuridão profunda da era escura, e levaram dezenas de milhões de anos para agregar as imensas quantidades de hidrogênio necessárias. A busca por alguma que ainda brilhe nos cantos mais remotos do universo está em andamento, mas até agora não produziu resultados.

Depois da recombinação,* a matéria comum do universo já é constituída por átomos, sendo, portanto, completamente neutra, e ainda está se esfriando. A gravidade a concentra devagar em torno dos nós de densidade mais elevada da distribuição de matéria escura que envolve a enorme nuvem de gás. As irregularidades se traduzem em zonas de atração gravitacional mais intensa, que formam, portanto, aglomerados de matéria cada vez mais imponentes.

As superestrelas primordiais não nascem isoladas, mas se agregam em grupos mais ou menos numerosos, organizando-se em grandes famílias. Essa distribuição espacial, localmente inomogênea, irá se refletir na sucessiva formação das galáxias.

As megaestrelas são muito diferentes das estrelas atuais não só por suas dimensões, mas também porque são compostas apenas de hidrogênio e hélio. Elas são completamente desprovidas de elementos mais pesados, pelo simples fato de que eles ainda não se formaram. A síntese de núcleos de carbono, nitrogênio e oxigênio — que serão os componentes indispensáveis para o nascimento e evolução de estruturas mais complexas, como as galáxias e planetas — ocorrerá apenas nas camadas mais internas desses novos astros.

Nas estrelas anãs, como o Sol, herdeiro de uma longa cadeia de gerações de estrelas primordiais, esses elementos estão presentes, mas não participam de maneira significativa nos processos nucleares, que são dominados pela cadeia próton-próton. Ao contrário, as estrelas

mais massivas que o Sol, que alcançam pressões e temperaturas internas muito maiores, podem desencadear outras reações nucleares de fusão, que utilizam elementos mais pesados. Em especial, a temperaturas elevadas o bastante, os núcleos de carbono, nitrogênio e oxigênio podem servir de catalisadores para a fusão do hidrogênio e aumentar sua eficiência. Esse mesmo processo constitui um limite às dimensões das estrelas mais massivas no universo atual. Para uma massa cerca de cento e cinquenta vezes superior à do Sol, as reações nucleares ligadas à cadeia carbono-nitrogênio-oxigênio ocorreriam numa velocidade tão elevada que rapidamente levariam à destruição da estrutura estelar.

Esse limite, porém, não se aplica às megaestrelas: a velocidade da única cadeia próton-próton permite construir monstros que podem superar até trezentas massas solares. Contudo, quanto maior a dimensão da estrela, mais rápida é a utilização do combustível. Para as estrelas vale a máxima “quanto menor, melhor”, uma vez que existem vantagens consideráveis em ter tamanho reduzido. O Sol pode queimar lentamente por bilhões de anos, enquanto as supergigantes, que o olham com ar de superioridade por conta de suas dimensões, terão uma vida brevíssima, que chegará no máximo a 1 milhão de anos.

As superestrelas, que começaram a brilhar no universo primordial 200 milhões de anos depois do Big Bang, são astros muito grandes, extremamente luminosos, mas de vida breve. Com sua luz, põem fim à era da escuridão, mas têm existência efêmera, como os vaga-lumes na primavera.

As megaestrelas se sucedem de geração em geração e, quando chegam ao término de sua existência, explodem, difundindo ao redor as novas formas de matéria que forjaram em seus imensos cadinhos nucleares. Desse modo, o universo se enriquece de elementos como carbono, oxigênio e nitrogênio e, depois, de outros, cada vez mais pesados, que modificarão também as reações nucleares das gerações de estrelas posteriores. Aquelas que irão utilizar o material distribuído no espaço pelas megaestrelas serão menores e menos luminosas que seus gigantescos antepassados, mas poderão viver por mais tempo e

dar início a transformações complexas, que demandarão, antes de mais nada, uma grande quantidade de tempo.

Tal como os grandes répteis do Jurássico, que deixaram lugar para os menores e ágeis mamíferos, assim também as megaestrelas, no decorrer de algumas centenas de milhões de anos, se extinguíram para dar origem a novas gerações de estrelas, menores, porém mais aptas a sobreviver.

Reunir sinais dessa época escura e silenciosa em que se formaram as primeiras estrelas é um dos desafios com que a radioastronomia moderna trabalha. A única radiação emitida pelas grandes nuvens de gás que estão se agregando em superestrelas é aquela conhecida como *a linha de 21 centímetros* do hidrogênio neutro. Trata-se de um sinal eletromagnético muito característico, emitido pelo hidrogênio na região das micro-ondas; sua revelação seria uma confirmação inequívoca de que conseguimos penetrar na escuridão da era escura. É um sinal fraquíssimo, que nasce de uma transição proibida do átomo de hidrogênio, um fenômeno muito raro, que só se pode observar tendo sob escrutínio enormes quantidades de gás. Os radioastrônomos o reconstruíram sondando as grandes nebulosas de hidrogênio presentes na nossa galáxia, mas todas as tentativas de identificá-lo no ruído de fundo do universo fracassaram.

Se ele for encontrado, poderemos reconstruir um mapa semelhante ao da radiação cósmica de fundo. Esse mapa nos forneceria uma imagem muito precisa da distribuição da matéria na época escura, visto que seria possível ver o mecanismo de formação das superestrelas em todos os detalhes e poderíamos entender melhor o papel da fase de reionização na formação das galáxias.

Com o ciclo frenético de vida e morte das grandes estrelas primordiais se produz um novo fenômeno: a luz emitida pelos novos astros é tão intensa que, quando atinge o hidrogênio distribuído no espaço em torno, ioniza os átomos do gás, arrancando seus elétrons. O fenômeno é ainda mais violento durante a morte das megaestrelas, quando um raio ofuscante assinala o fim do combustível nuclear. Lentamente, a maior parte do material presente no universo começa a ser ionizada, retornando àquele estado abandonado no momento da

recombinação, 380 mil anos depois do Big Bang, e vemos um progressivo aumento da opacidade. É a época da reionização, que começa algumas centenas de milhões de anos depois do aparecimento das primeiras megaestrelas.

Por um longo período o universo volta às trevas, numa contínua alternância de luz e escuridão que parece nunca ter fim. Agora o universo está repleto de estrelas, enormes e muito luminosas, mas não é mais transparente. Os elétrons livres interagem com os fótons emitidos pelas estrelas e os atenuam e capturam, impedindo-os de transmitir a luz sobre longas distâncias. O universo volta a cair, outra vez, na mais total escuridão.

O processo continuará por algumas centenas de milhões de anos, o tempo necessário para ionizar todo o gás de hidrogênio. A matéria agora voltou a ser um plasma, um estado semelhante ao que provocara a era da opacidade e poderia, teoricamente, absorver toda a luz produzida. Mas o universo continua a se expandir, e a densidade se reduz cada vez mais, até ficar tão baixa que, terminado o processo de reionização, tudo volta a ser transparente. Desde então, um gás quente e ionizado permeia o universo inteiro, mas sua densidade é tão tênue que a luz pode atravessá-lo de um lado a outro.

Finalmente, antes que o universo comemore seu primeiro bilhão de anos, a luz prevaleceu sobre as trevas. O combate foi duríssimo, e por vezes houve o receio de que a escuridão o derrotasse para sempre. Mas agora ele venceu, e, desta vez, o sucesso será definitivo.

Um incrível fogo de artifício cósmico

Os processos nucleares que se desencadearam no interior das megaestrelas levaram à formação de elementos cada vez mais pesados. Carbono, nitrogênio, oxigênio e todos os demais elementos até o ferro se acumularam lentamente nas camadas mais interiores, aprisionados pela gravidade. No término do seu ciclo vital, a estrutura das grandes estrelas foi rasgada por titânicas explosões, que distribuíram tudo no espaço ao redor. Depois de numerosos ciclos, essa poeira estelar rica de elementos pesados, inclusive muitos metais, gerou outras estrelas e outros planetas, como o Sol e a nossa Terra.

A fase paroxística em que as estrelas morrem, produzindo efeitos realmente espetaculares, tem um papel decisivo na formação do nosso sistema solar, e vale a pena descrevê-la em detalhe.

O fim das estrelas depende em grande medida da sua massa. Estrelas com mais de dez massas solares de peso produzem em seu interior densidades e temperaturas gigantescas. No coração desses colossos as temperaturas estão na casa dos bilhões de graus, e, nesse ambiente, as reações de fusão envolvem todos os elementos. Com o passar do tempo se esgotam os componentes mais leves — hidrogênio e hélio — e os elementos mais pesados produzidos nas reações mais complexas começam a se fundir: carbono, nitrogênio, oxigênio e assim por diante. Quando chega a vez de o silício se fundir e se produz ferro, o processo para. Reações posteriores não são possíveis, e o coração da estrela, que não produz mais energia, colapsa de maneira catastrófica.

Sob o impulso implacável da gravidade, o núcleo central se contrai de repente, reduzindo suas dimensões centenas de milhares de vezes, e a estrela explode. Todas as camadas superiores ficam suspensas no vazio, e a tremenda força de gravidade faz com que se precipitem na direção do núcleo, que se tornou um objeto minúsculo e terrivelmente compacto. O impacto assustador contra o núcleo e as reações nucleares daí decorrentes arremessam todo o material para o exterior. Uma massa enorme de gás, equivalente a muitas massas solares,

produz uma imensa onda de choque que se propaga no espaço a mais de 10 mil quilômetros por segundo e permanecerá visível por séculos. As nuvens de gás, ricas em elementos pesados e quimicamente variados, alcançarão grandes distâncias e constituirão o material de base para novas agregações.

Tal como a força de Zeus joga os titãs no abismo, assim também a gravidade, furiosa pela quantidade de tempo perdido no combate à força nuclear, contrariada por ter sido impedida de prevalecer, vai à forra e celebra seu triunfo com um horripilante e silencioso grito, que devora a estrela e arremessa seus fragmentos no espaço a velocidades monstruosas.

Um raio de luz ofuscante atravessa o céu. Tão vistoso que os terrestres ignaros, a milhares de anos-luz de distância, quando o avistarem no seu devido tempo, pensarão que aquele pontinho luminoso, que surgiu de repente no céu, assinala não a morte de uma estrela, e sim o nascimento de um novo astro, que chamarão de *nova estrela* ou *supernova*. O assombro será geral e o fenômeno será registrado na história, considerado um sinal de mau agouro ou de boa sorte, a depender do caso e da conveniência.

Todos os núcleos que compõem nosso corpo — o cálcio dos ossos, o oxigênio da água, o ferro da hemoglobina — atravessaram esse passado tempestuoso e terrível. Agora os átomos formados se submetem docilmente às reações químicas e biológicas que garantem nossa existência. Se eles ao menos pudessem nos contar alguma história de sua infância tão aventureira... ou, quem sabe, o pesadelo daquele nascimento tão traumático: antes produzidos nas condições extremas de temperatura e pressão do coração de uma estrela, depois arremessados a velocidades monstruosas no vazio mais absoluto, por bilhões de anos, à espera de que se criasse uma nova agregação.

As explosões de supernovas estão entre os fenômenos mais catastróficos do universo e constituem uma preciosa fonte de informação sobre a dinâmica das estrelas e a construção das galáxias. O fenômeno libera uma enorme quantidade de energia em formas diversas. A maior parte dela é emitida sob a forma de neutrinos: um fluxo colossal dessas levíssimas partículas ilumina o universo inteiro a

cada vez que explode uma supernova. Por sorte, os neutrinos são delicados e gentis, e o único rastro que deixam em sua passagem pela Terra é um inócuo sinal nos grandes detectores dedicados a eles. Uma parte importante da energia é empregada na aceleração da onda de impacto que impulsiona o material ao redor. O resto são ondas gravitacionais e radiação eletromagnética de todas as frequências: a luz, que produz o brilho visível também para nós, mas principalmente os fótons de alta energia, raios X e gama que são lançados, junto com as partículas carregadas aceleradas pela onda de impacto, nas grandes distâncias. São fenômenos que duram semanas ou até meses; alguns, ligados ao decaimento radioativo dos isótopos produzidos na nuvem de gás, até décadas.

A explosão de uma supernova é um dos espetáculos naturais mais incríveis que a nossa mente pode imaginar, mas é sempre bom que não aconteça muito perto de nós. Os efeitos dessas radiações poderiam ser letais para muitas espécies, se não para todas, que povoam o planeta. Por sorte, as estrelas massivas para as quais está prevista essa pirotécnica saída de cena são bastante raras, e estão todas a grande distância de nós.

A mais próxima é Betelgeuse, uma estrela avermelhada, visível mesmo a olho nu, logo acima do cinturão de Órion. É uma supergigante vermelha, que pesa dez vezes mais do que o Sol e tem um diâmetro enorme. É uma estrela tão grande que, se a colocássemos no lugar do Sol, ela ocuparia o sistema solar até quase a órbita de Júpiter. A estrela está próxima do seu fim: prevê-se que tenha apenas mais um, no máximo 2 milhões de anos, e, quando explodir, será um espetáculo. Seu brilho iluminará as noites por meses, como se fosse sempre lua cheia. O grande fogo de artifício que Betelgeuse criará não deve constituir um perigo para os terráqueos, se eles ainda existirem, pois felizmente a estrela está a cerca de seiscentos anos-luz do nosso planeta, uma distância considerável que deve permitir aos habitantes da Terra gozarem o espetáculo em plena segurança.

E o Sol, como acabará? Ele é pequeno demais para explodir catastróficamente, mas, mesmo assim, quando chegar o momento da despedida, também produzirá um belo espetáculo. Isso poderia ser

preocupante, a não ser pelo fato de que vai demorar bastante. Por um bom tempo não devemos ter problemas, visto que o estoque de hidrogênio do Sol deve bastar por mais 5 ou 6 bilhões de anos. Quando terminar, começarão as reações envolvendo os elementos mais pesados; a esse ponto, o núcleo mais interno irá se aquecer e o volume do Sol crescerá até transformá-lo numa gigante vermelha. Suas dimensões se expandirão com grande rapidez, até alcançar e vaporizar sucessivamente Mercúrio, Vênus e a Terra. Isso não deve ser uma grande preocupação, porque o Sol, muito tempo antes, já terá aumentado sua potência em cerca de 40%, e, assim, as calotas de gelo dos polos já terão desaparecido e todos os oceanos terão evaporado, tornando impossível qualquer forma de vida na Terra.

Ao chegar ao fim, o Sol expelirá as camadas mais externas de gás e se transformará numa nebulosa planetária. Aos poucos, o núcleo mais interno se libertará da cabeleira e parecerá um objeto de dimensões semelhantes à Terra, extremamente denso, quente e luminoso: uma *anã branca*, ou seja, um pequeno corpo brilhante feito de núcleos de carbono e oxigênio completamente ionizados e protegidos por um escudo compacto de elétrons, robusto a ponto de impedir o posterior colapso gravitacional. O pequeno astro continuará a se resfriar, talvez por dezenas de bilhões de anos, até se tornar uma *anã negra*, ou seja, um objeto inerte, invisível a todos, no qual não restará mais nenhum traço do antigo esplendor.

O fascínio das estrelas negras

Estrelas de dimensões muito maiores que o Sol, quando esgotam o combustível nuclear, se transformam em objetos ainda mais exóticos: se têm uma massa compreendida entre dez e trinta massas solares, formam-se as densíssimas *estrelas de nêutrons*, isto é, pequenas esferas de dez-vente quilômetros de raio que contêm uma vez e meia a massa do Sol.

As estrelas de nêutrons se formam quando o colapso gravitacional é tão violento que desfaz numa papa de prótons e nêutrons todos os núcleos dos elementos que as compõem. O gás de elétrons, que nas anãs brancas age como um escudo protetor, aqui é despedaçado num instante. A força da gravidade, em objetos tão massivos, é tamanha que elétrons e matéria nuclear são comprimidos a ponto de desencadear reações de captura por parte dos prótons, que são todos transformados em nêutrons. Forma-se um corpo supercompacto e de densidade descomunal, semelhante a um gigantesco núcleo atômico, todo feito de nêutrons vigorosamente compactados pela força forte. Uma matéria de densidade tão extrema que em comparação a massa de uma montanha como o Everest caberia numa colherinha de chá.

Para tornar tudo ainda mais impressionante, a pequena esfera gira em torno do próprio eixo a uma velocidade espantosa. Foram identificadas estrelas de nêutrons capazes de dar uma volta completa em milésimos de segundo. As camadas superficiais dessas estrelas, que giram a centenas de rotações por segundo, se movem em velocidades que podem com facilidade superar 50 mil quilômetros por segundo.

O fenômeno nasce da gigantesca contração que se produz durante o colapso. O movimento de rotação em torno do próprio eixo da estrela-mãe, lento e pacífico, é intensificado pela conservação do movimento angular. Se o período original se media em semanas ou meses, agora que o raio se contrai de milhões para poucas dezenas de quilômetros a frequência aumenta para centenas de rotações por segundo. A patinadora no gelo, de repente, fechou os braços ao redor do peito e a

pirueta se tornou muito mais rápida e espetacular.

A rápida contração das dimensões, ligada ao colapso gravitacional, também amplifica enormemente o campo magnético original. Aquelas linhas de força gigantescas que envolviam a grande estrela são agora forçadas a se fechar em torno de um pequeno núcleo compacto, e sua densidade explode. As estrelas de nêutrons produzem campos magnéticos extremos, bilhões de vezes superiores aos das estrelas comuns.

Quando o eixo magnético da estrela de nêutrons não coincide perfeitamente com o eixo de rotação, elétrons e pósitrons que permaneceram livres na superfície do corpo celeste são acelerados em direção aos polos e produzem um poderoso jato de radiação eletromagnética, que gira com a mesma frequência da estrela. Se a Terra se encontra no cone de emissão dessa estação radiofônica tão especial, podemos registrar um sinal de rádio pulsante e extremamente regular, um relógio de precisão extrema, uma espécie de farol poderosíssimo que, em vez de luz, emite ondas de rádio. Descobrimos um *pulsar*.

A singularidade dos buracos negros

Quando a massa da estrela é de fato enorme, acima de trinta massas solares, o resultado do colapso é a formação de um *buraco negro*. Nem mesmo os nêutrons conseguem resistir ao impulso da gravidade e acabam em fragmentos; até os seus componentes elementares são comprimidos de maneira furiosa, a ponto de concentrarem a massa residual num volume infinitesimal.

Nascem então sistemas em cujo interior vigoram leis da física que ainda não conhecemos e que permitem armazenar de cinco a cinquenta massas solares num espaço inacessível, correspondente a poucas dezenas de quilômetros de diâmetro.

Seja por remeter a um dos pesadelos mais recorrentes — o da queda irrefreável num poço sem fundo — ou talvez porque, num passado distante, nossos antepassados viveram o perigo de serem dilacerados e devorados por animais ferozes, a verdade é que, tão logo se fala em buracos negros, aciona-se imediatamente em nós um reflexo de pânico ancestral.

Até poucos anos, o tema interessava no máximo a alguns especialistas, que o discutiam em seus colóquios, placidamente, sem saber que logo haveria uma explosão do interesse popular por um assunto tão exótico.

A ideia de que nosso firmamento possa hospedar *estrelas escuras* tem pelo menos dois séculos. O primeiro a conjecturá-la, em 1783, foi o reverendo John Michell, filósofo naturalista e grande cientista da época. Raciocinando sobre a teoria corpuscular da luz desenvolvida por Newton, foi fácil para Michell imaginar estrelas tão compactas e massivas que pudessem produzir uma gravidade colossal, tão poderosa que aprisionaria para sempre a luz emitida em sua superfície. As partículas de luz se comportariam como pedras jogadas da Terra, desenhando trajetórias parabólicas que inevitavelmente as trariam de volta ao solo.

A ideia de Michell era tão além do seu tempo que ninguém a levou

em consideração por quase duzentos anos. Um primeiro momento de ruptura é registrado em 1916, pouco depois de Albert Einstein publicar sua teoria da relatividade geral e Karl Schwarzschild, um físico alemão que se alistara na Primeira Guerra Mundial e combatia no front russo no comando de um regimento de artilharia, conseguir que lhe enviassem o artigo que ficará na história. Em pouco tempo, usando um sistema diferente de coordenadas, Schwarzschild conseguiu encontrar uma solução exata para as equações para as quais o próprio Einstein não fora além de soluções aproximadas.

Com essa nova abordagem, o espaço-tempo assumia uma simetria esférica, e para toda massa se podia definir um raio, que será indicado com o nome de Schwarzschild, abaixo do qual nascia uma singularidade: uma curvatura do espaço-tempo tão elevada que os próprios fótons não conseguiriam escapar. A solução era tão curiosa que nem Einstein nem o próprio Schwarzschild ousaram escrever ou nem sequer apenas imaginar que, por trás da formulação matemática, poderia estar uma nova classe de corpos celestes.

Será necessário esperar até os anos 1960 para que seja cunhada a expressão *buraco negro*, introduzida em 1967, com um toque de forte ironia, pelo físico americano John Wheeler, um dos primeiros a intuir que eles poderiam ser objetos astronômicos reais e que um novo campo de pesquisa se abria. Desde então, o estudo dos buracos negros e a caçada a todos os possíveis sinais que possam sugerir sua presença têm marcado profundamente a astrofísica moderna.

Os anos 1970 trouxeram as contribuições teóricas fundamentais de Roger Penrose** e Stephen Hawking e as primeiras observações indiretas de candidatos a buracos negros. Um catálogo que se enriqueceu ano a ano, até a surpreendente descoberta de buracos negros supermassivos presentes no núcleo central da maioria das galáxias elípticas ou espirais. Todos se lembram, afinal, que foi uma colisão entre buracos negros, com cerca de trinta massas solares, que provocou o primeiro sinal de ondas gravitacionais registrado pelos grandes interferômetros norte-americanos do Ligo em 2015.

Os buracos negros podem ser “vistos” indiretamente, através dos sinais que nascem da sua interação com formas de matéria comum.

Quando orbitam nos arredores de uma estrela massiva, suas forças de maré arrancam da desafortunada companheira enormes quantidades de material: o gás ionizado, acelerado pelo campo gravitacional do buraco negro que está para engoli-lo, forma discos de crescimento que emitem radiações em muitos comprimentos de onda. Tornando o espetáculo ainda mais pirotécnico, frequentemente se registram grandes jatos de matéria, expulsos dos polos, que viajam no espaço a velocidades próximas à da luz.

Os buracos negros são, portanto, uma nova classe de corpos celestes, um tanto raros, porém presentes em muitas zonas do universo. Hoje sabemos que são objetos bastante diferentes entre si, não só pelas dimensões e características, estacionários ou rotantes, neutros ou carregados, mas também pelas dinâmicas das quais nascem e pela evolução que sofrem.

Eles podem se formar pelo colapso gravitacional de estrelas supermassivas, mas podem nascer também quando estrelas de nêutrons entram em colisão ou atingem a massa crítica, absorvendo matéria de estrelas comuns com as quais interagem em sistemas binários.

Uma fusão que vale ouro

A colisão entre estrelas de nêutrons, além de dar origem a novos buracos negros, pode produzir efeitos estonteantes.

Imaginem uma enorme nuvem de ouro e platina, com uma massa centenas de vezes superior à da Terra. Foi esse o espetáculo incrível que se apresentou aos olhos dos astrônomos há algum tempo, quando eles concentraram seus instrumentos numa zona do céu próxima à constelação de Lira. Uma verdadeira “fábrica cósmica de metais pesados” formada por um evento catastrófico: a colisão entre duas estrelas de nêutrons.

Estamos em agosto de 2017, e faz poucos dias que os dois interferômetros americanos do Ligo e o ítalo-francês de Virgo, próximo a Pisa, estão operando juntos pela primeira vez. Eles estão à caça de ondas gravitacionais produzidas pela fusão de buracos negros e logo registram um evento semelhante ao da primeira descoberta de 2015. Depois, passados três dias, captam um novo sinal, estranho, diferente dos habituais, menos intenso, mas muito mais prolongado: a assinatura característica de ondas gravitacionais produzidas pela fusão de estrelas de nêutrons.

Não se trata de corpos ultramassivos que estiveram na origem dos primeiros sinais; mesmo duas estrelas de nêutrons, quando se encontram, acabam por se fundir num choque catastrófico; enquanto espiralam uma ao redor da outra e se aproximam em velocidades próximas à da luz, elas deformam o espaço-tempo e produzem um sinal de ondas gravitacionais que dura dezenas de segundos.

Tudo isso aconteceu a uma distância, em termos cósmicos, bastante modesta: apenas 130 milhões de anos-luz, em vez do 1,4 bilhão da primeira e sensacional descoberta. O sinal inicial era mais fraco porque as massas que se fundiram eram menores, mas a distância menor permitiu a observação.

O fato de que Virgo também estivesse em operação nessa oportunidade permitiu a triangulação. Com três instrumentos

trabalhando em conjunto, foi possível identificar a fonte, e o alerta que foi enviado a setenta observatórios distribuídos em todos os continentes e no espaço produziu uma grande safra de resultados. O sinal de ondas gravitacionais é acompanhado por fótons de alta energia e sequências de emissões eletromagnéticas de energia mais baixa que se estendem por semanas.

Logo se entendeu que a erupção de raios gama registrada dois segundos depois por outros instrumentos, como o Fermi — um telescópio espacial em órbita da Terra e que provinha exatamente da mesma região — estava ligada ao mesmo fenômeno. Com toda probabilidade, era o sinal de que, na colisão, um buraco negro havia se formado.

O evento de 17 de agosto de 2017 foi a estreia espetacular da astronomia *multimensageira*. O mesmo fenômeno é estudado usando os sinais que ele emite em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético e nas ondas gravitacionais, obtendo-se assim uma compreensão muito mais detalhada.

Agora sabemos que, quando duas estrelas de nêutrons se fundem, produzem ondas gravitacionais; e entendemos de onde vêm as erupções de raios gama sobre cuja origem pairavam muitas dúvidas até hoje. No fim houve uma surpresa incrível, que ocorreu nas semanas seguintes ao primeiro sinal: entre os resíduos da fusão, os astrônomos identificaram uma pequena nebulosa de materiais pesados. Uma enorme quantidade de poeira de metais preciosos, massas gigantescas de ouro e platina que foram produzidas pela colisão e expulsas em velocidades descomunais no espaço ao redor, como uma espetacular confirmação da teoria que postulava que os elementos mais pesados que o ferro só podiam se formar em eventos catastróficos desse tipo.

Mais uma vez vivemos a experiência de descobrir fenômenos de desproporcional violência que se ocultam sob a aparência de um equilíbrio cósmico, à primeira vista plácido e tranquilo.

Com a descrição desses eventos extraordinários, nossa narrativa chega ao fim do quinto dia. O universo se povoou com uma infinidade de estrelas que, uma geração após a outra, difundiram no cosmo

enormes quantidades de gás e de poeira de elementos pesados, entre os quais circulam furtivamente estrelas de nêutrons e buracos negros. Passaram-se 500 milhões de anos desde a origem do universo, e já estão se formando as primeiras galáxias.

* Recombinação é o termo usado em cosmologia para descrever o momento, na evolução do universo, em que os primeiros átomos se formam; é nesse momento que o universo deixa de ser opaco. (N. R. T.)

** Por suas descobertas sobre os buracos negros, Penrose recebeu o prêmio Nobel de Física em 2020, junto com Reinhard Genzel e Andrea Ghez. (N. R. T.)

Sexto dia

E o caos se fantasiou de ordem

NO INÍCIO DO SEXTO DIA o universo já brilha com uma infinidade de estrelas gigantescas. Elas se reproduzem, de geração em geração, em ciclos temporais bastante rápidos, se considerarmos as escalas cósmicas. Toda vez que uma estrela morre, as camadas externas de hidrogênio e hélio ionizados que a envolvem se enriquecem de elementos cada vez mais pesados, a ponto de se encontrarem por toda parte grandes nebulosas de gás e poeira que, por sua vez, darão vida a novas gerações de estrelas, menores e mais longevas.

A gravidade age devagar sobre esses aglomerados de matéria que se formaram ao redor dos grandes torrões de matéria escura; muito mais preponderantes em termos de massa, esses aglomerados geram verdadeiros buracos de potencial, aos quais se lançam estrelas, gás e poeira. Tudo corre precipitadamente para esse nada, um coração das trevas invisível que atrai tudo de maneira irreversível. Por causa dos choques criados nessa compressão, o gás se aquece e aumenta a pressão capaz de combater o colapso posterior. A maior parte está concentrada no centro do halo de matéria escura, onde a densidade aumenta e tudo o mais gravita ao redor.

A conservação do momento angular impede que as estrelas e os aglomerados de matéria se mantenham no buraco central; devido à simetria subjacente, eles são obrigados a girar lentamente em volta do núcleo central, e então se forma um disco de rotação, um vórtice semelhante ao dos furacões: assim nasce uma galáxia.

Estamos caindo, irremediavelmente, não há dúvida, e a queda não tem escapatória. Um sorvedouro terrível está nos engolindo, o mais angustiante dos nossos pesadelos se converteu em realidade. Nosso fim está marcado, o mecanismo caótico e dinâmico que governa o todo não nos deixa esperança. Os tempos dessa catástrofe, na verdade, são longuíssimos não só em relação às nossas vidas individuais, mas também em relação aos tempos característicos da nossa espécie, que

habita o mundo há apenas algumas centenas de milhares de anos. A vida da galáxia se desenvolve numa escala de muitos bilhões de anos; haverá tempo suficiente para construir sistemas solares, planetas e formas de vida que se perguntam como tudo isso funciona.

O caos se fantasiou de ordem, vestiu a bela máscara do equilíbrio e da harmonia, e esse grande engano nos tranquiliza e nos acalma há milênios.

Spira mirabilis

O nome da nossa galáxia, Via Láctea, remete ao pé da letra ao grego *galaxías*, do qual deriva o termo genérico de galáxia, que pode se traduzir por *de leite* ou *láctea*. No nome ressoa o mito das origens, ligado a uma das tantas travessuras de Zeus. Apaixonado por Alcmena, o rei dos deuses assume a aparência do marido desta, une-se à belíssima terrestre e a fecunda. Da relação nascerá Hércules, que Zeus prontamente rapta para levar ao Olimpo. Ali, coloca-o no regaço da consorte Hera, que dorme, para que o menino possa saborear seu leite divino e se tornar ele próprio imortal.

Mas o pequeno brutamontes, desde recém-nascido incapaz de controlar a exuberância física que o levará a realizar proezas lendárias, agarra-se com demasiado ardor ao seio da deusa e suga vorazmente. Hera, acordando de súbito, repele com força aquele bebê desconhecido, e o leite, jorrando dos mamilos divinos, enche o céu de pequenas gotas esbranquiçadas que se transformam imediatamente em minúsculas estrelas, enquanto as gotas caídas na terra se tornam lírios.

A nossa Via Láctea é um aglomerado de estrelas, poeira e gás que se mantém unido por um enorme halo de matéria escura. É uma grande galáxia em espiral, um gigantesco cata-vento cósmico, organizado em braços muito luminosos, nos quais se concentram as estrelas de formação nova; contém mais de 200 bilhões de estrelas, e tudo gira ao redor da densa região central. No núcleo, a concentração de matéria é tão grande que forma uma espécie de barra de densidade constante, de onde vem sua classificação como galáxia espiral barrada.

Sua forma segue a geometria da espiral de crescimento, uma curva que se encontra em muitos processos naturais. Partindo do centro, o raio aumenta regularmente com o ângulo, formando a geometria encantadora que caracteriza algumas conchas, como a do náutilo. Descartes foi o primeiro a descrever sua função, e Jakob Bernoulli ficou tão encantado que lhe deu o nome de espiral maravilhosa, *spira mirabilis*, e pediu que fosse esculpida em sua lápide.

Diferente do que acontece no sistema solar, onde a velocidade dos planetas diminui conforme aumenta a distância do Sol, aqui tudo orbita em torno do núcleo galáctico com uma velocidade praticamente idêntica, cerca de duzentos quilômetros por segundo, ou seja, a magníficos 700 mil quilômetros por hora. Já vimos que essa velocidade angular, quase constante, é um dos indícios mais evidentes da volumosa presença da matéria escura. De fato, o que chamamos de Via Láctea é só uma pequena parte da nossa galáxia.

Poeira, gás e estrelas, ou seja, a matéria visível, se distribuem sobre um disco plano, de cerca de 100 mil anos-luz de diâmetro e 2 mil anos-luz de espessura. O nosso Sol, arrastando atrás de si os seus planetas, orbita a uma distância de cerca de 26 mil anos-luz do centro galáctico e, apesar da velocidade considerável, leva mais de 200 milhões de anos para dar uma volta completa. Tudo está mergulhado num imenso halo esferoide de matéria escura, que se estima ter um diâmetro de cerca de 1 milhão de anos-luz. A parte luminosa é quase insignificante comparada à enorme nuvem de matéria invisível e misteriosa, que se insinua em tudo e tudo rodeia, e que contribui com cerca de 90% para a massa global.

Galáxias, aglomerados e colisões

A fase de formação das grandes galáxias cobre um longo período da vida do universo. As primeiras agregações, de fato, começam a se formar por volta de 500 milhões de anos após o Big Bang e continuam por mais 3 ou 4 bilhões de anos, enquanto pequenas galáxias compactas também continuarão a se formar nos bilhões de anos seguintes.

A Via Láctea é uma galáxia de dimensões muito superiores à média. Pelo volume que ocupa e pelo número de estrelas que contém, pode ser considerada, com razão, uma galáxia gigante. Existem, porém, verdadeiros colossos, diante dos quais o tamanho considerável da nossa Via Láctea parece irrisório. Um deles é a IC 1101, uma galáxia supergigante que contém mais de 100 trilhões de estrelas e tem um diâmetro de 6 milhões de anos-luz.

O número total de galáxias no universo foi calculado extrapolando as observadas numa pequena porção do céu, onde parecia não haver nenhuma. O resultado é impressionante: as estimativas mais recentes falam em mais de 200 bilhões de galáxias, isso sem contar as de dimensões demasiado pequenas ou muito pouco luminosas para serem observadas a grandes distâncias.

Junto com as galáxias em espiral, as elípticas constituem a forma mais comum; nelas, as estrelas estão organizadas num volume ovoide, quase esférico. Essas duas tipologias cobrem quase 90% do total, enquanto as demais têm formas irregulares.

As de formas extravagantes são, muitas vezes, galáxias de pequenas dimensões. Entre elas se encontram estruturas em anel em várias configurações, isso para não falar de outras ainda mais estranhas, em que se detectaram semelhanças com a figura de um pinguim ou com as letras do alfabeto. As formas mais excêntricas costumam se dever a colisões entre galáxias. No choque, é altamente improvável que apenas uma estrela se choque com outro corpo celeste, e as fortes interações gravitacionais decorrentes do encontro destroem a estrutura ordenada

do sistema, que assume, por um tempo, as formas mais bizarras, que se reorganizarão como galáxias elípticas. Presume-se que todas as galáxias se formaram originalmente como galáxias em disco, e que as elípticas resultam de eventos de fusão ou canibalização de galáxias-satélites.

Ao redor da Via Láctea encontramos outras duas galáxias gigantes: a mais próxima é Andrômeda, enquanto a Galáxia do Triângulo fica um pouco mais afastada. As três fazem parte do grupo local em torno do qual gravitam satélites como a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães. As galáxias-satélites somam, ao todo, cerca de sessenta; muitas delas são elípticas anãs, algumas realmente minúsculas, contendo apenas alguns milhares de estrelas.

A nossa Via Láctea e a galáxia de Andrômeda parecem se mover em rota de colisão. A distância é notável — 2,5 milhões de anos-luz —, mas não é nada pequena a velocidade a que parecem se dirigir uma contra a outra: 400 mil quilômetros por hora. Ou seja, existe a possibilidade de que as duas grandes galáxias produzam, daqui a 5 ou 6 bilhões de anos, uma colisão cósmica realmente espetacular. Aproximando-se, elas entrariam numa fase turbulenta muito prolongada, na qual as forças de maré deformariam de maneira irreversível as duas maravilhosas espirais, produzindo, talvez, uma única gigantesca estrutura. A Galáxia do Triângulo por algum tempo ficaria a olhar, depois se tornaria um satélite da galáxia surgida da fusão das duas gigantes, e mais tarde talvez também se fundisse à nova e enorme agregação.

Os grupos locais podem ser formados por dezenas de galáxias; quando superam a centena, não se fala mais em grupo e sim em aglomerado. Grupos, aglomerados e galáxias isoladas formam, por sua vez, estruturas ainda mais gigantescas, chamadas de superaglomerados. Essa organização hierárquica é bastante comum e está razoavelmente disseminada. O grupo local da Via Láctea, por exemplo, faz parte do superaglomerado de Virgem, um sistema enorme que contém quase 50 mil galáxias. Os diversos superaglomerados estão ligados entre si por filamentos de galáxias, que separam zonas de vazio muito extensas. Essa organização de tipo

hierárquico acaba por formar uma superestrutura semelhante a uma esponja, com enormes bolhas de vazio entremeadas por zonas de alta densidade de galáxias: a estrutura em grande escala do universo.

O coração das trevas da nossa Via Láctea

O núcleo da nossa galáxia pode ser visto mesmo a olho nu, numa noite clara de inverno, bem alto no céu, na constelação de Sagitário. Não se notam muitas estrelas, mas, se o ar estiver límpido e estivermos distantes de fontes de poluição luminosa, entrevemos uma espécie de claridade difusa. É o que resta da luz de uma grande concentração de estrelas, atenuada pela poeira que se adensa em volta do centro galáctico. Para ter uma imagem mais nítida é preciso usar telescópios capazes de penetrar a poeira, como os de infravermelho ou os que fazem uma espécie de radiografia de raios X.

Observações com esses instrumentos permitiram evidenciar a enorme concentração de estrelas do núcleo e levaram a uma descoberta inquietante. Medindo a velocidade orbital de rotação de algumas dessas estrelas, viu-se imediatamente que havia algo estranho, pois todas pareciam se mover a velocidades bem superiores às previstas. Ao controlar durante meses o movimento de dezenas dessas estrelas muito próximas ao centro da galáxia, encontramos velocidades impressionantes; uma delas chegava a se mover a 5 mil quilômetros por segundo.

Quando vemos dezenas de estrelas orbitando em torno do nada, a velocidades que implicam uma fortíssima atração gravitacional, a conclusão só pode ser uma: no centro da nossa galáxia há uma grande massa concentrada num objeto invisível e gigantesco, que pesa 4 milhões de vezes mais do que o Sol; travamos conhecimento com Sagittarius A*. Em seu coração mais profundo e tenebroso, nossa plácida Via Láctea esconde uma espécie de monstro. Para as estrelas próximas, esse monstro é um pesadelo, pois elas podem eventualmente ser engolidas; para uma estrela mais periférica como o Sol, não há esse perigo.

Sagittarius A* é um buraco negro de massa enorme, com um raio de Schwarzschild com cerca de 12 milhões de quilômetros; sua densidade é elevada, mas nem de longe comparável à dos buracos negros de

origem estelar, que são muito menos pesados, mas de dimensões minúsculas. Ele pertence a uma nova classe: os buracos negros supermassivos. Tem características muito diferentes das dos seus semelhantes, que estão no último estágio da evolução das grandes estrelas. Comparados a Sagittarius A*, os buracos negros com cerca de trinta massas solares, que produziram o primeiro sinal de ondas gravitacionais, parecem objetos minúsculos e até bem-educados.

O acaso quis que o buraco negro mais próximo de nós se situasse justamente ali, no centro da constelação que alguns associam à lenda grega de Quíron, metade homem e metade cavalo, o mais hábil dos arqueiros. Quíron, o monstro nascido da união antinatural entre Cronos, sob a forma de cavalo, e a ninfa Filira. Abandonado pela mãe, que sente repulsa por sua aparência, Quíron é educado por Apolo em todas as artes e se torna o mais civilizado dos centauros, os seus violentos e animalescos semelhantes. É o sagitário por antonomásia, símbolo do homem que, por meio do conhecimento e da cultura, supera a sua natureza animal: Quíron, grande cultor da medicina e, segundo a lenda, mestre de sabedoria e mentor dos grandes heróis, desde Aquiles.

Sagittarius A*, como Quíron, poderá nos ajudar a entender um mundo que nos é hostil e parece repleto de perigos. O comportamento dos buracos negros supermassivos, o estudo daquelas regiões onde a matéria interage em condições extremas, pode ser a chave para compreender coisas muito importantes que ainda nos escapam. É por isso que muitos telescópios e instrumentos de todos os tipos estão apontados precisamente para ele, e estão coletando dados cada vez mais surpreendentes.

Vimos que o gás e a poeira que se precipitam na direção do buraco negro se aquecem a milhões de graus e, além da radiação infravermelha, emitem também ondas de rádio. Sagittarius A* provavelmente tem um campo magnético, e foram revelados traços de um disco de acreção, isto é, uma espécie de anel formado pela matéria que é arrancada das estrelas mais próximas e gira ao seu redor. Obtivemos sinais que parecem indicar jatos relativísticos nos polos: uma espécie de solução ou regurgitação do monstro, que, quando

engole grandes quantidades de poeira e gás, expelle uma parte, arremessando-a para os polos com tal violência que faz com que alcancem velocidades próximas à da luz.

Por fim, a última numa série de surpresas: ao observarem um aglomerado de sete estrelas a três anos-luz de distância do centro da galáxia, os astrônomos encontraram um buraco negro. O aglomerado se mantém unido por esse objeto com a massa de 1300 sóis, e o conjunto orbita em volta de Sagittarius A*. Trata-se do primeiro buraco negro de massa intermediária descoberto no interior da nossa galáxia,* e sua presença pode nos dar indicações sobre o mecanismo do crescimento anormal de Sagittarius A*, em parte devido, certamente, à canibalização de outros buracos negros de grandes dimensões. A recente descoberta de mais uma dúzia de buracos negros ao seu redor reforçou ainda mais essa hipótese.

Dada sua proximidade de nós, o núcleo central da Via Láctea é o laboratório ideal para submeter a relatividade geral a teste e estudar os fenômenos que ocorrem em zonas de alta deformação espaço-temporal. Por isso se mantém um monitoramento contínuo das dezenas de grandes estrelas que giram em torno de Sagittarius A* em órbitas elípticas curtas e rápidas.

Talvez o ensinamento de Quíron, o grande e sábio centauro, permita também a nós, pobres cientistas terrestres, vencer algum dia a ignorância abissal em que vivemos em relação a esses gigantescos objetos celestes.

Não acordem o dragão adormecido

A massa de Sagittarius A* é de fato enorme, mas empalidece diante da massa do buraco negro de NGC 4261, uma galáxia na constelação de Virgem. O gigantesco objeto tem 1,2 bilhão de massas solares.

Este é, sem dúvida, um caso extremo, mas já é uma convicção corrente que quase todas as grandes galáxias contêm no seu núcleo um desses buracos negros supermassivos, com massas que vão de milhões a bilhões de massas solares. Em suma, parece mesmo que, sem a presença desses simpáticos monstros, não é possível construir esses objetos maravilhosos que são as galáxias: configurações dinâmicas da matéria que permanecem estáveis numa escala de bilhões de anos.

Os pesos-pesados entre os buracos negros têm características que os diferenciam dos menores, resultado da evolução de estrelas massivas. Eles não têm, por exemplo, a descomunal densidade dos seus parceiros mais compactos. Os buracos negros mais gigantesco podem ter uma densidade inferior à da água, o que os torna, aparentemente, menos ferozes. Suas forças de maré, aquelas que nos despedaçam quando nos aproximamos de um buraco negro com o triplo ou o quádruplo de massa em comparação com o Sol, são muito mais brandas, quase imperceptíveis. Poderíamos atravessar o seu horizonte de eventos sem nos darmos conta, pelo menos de início. Mas, apesar desse aspecto tão tranquilo, eles estão entre os objetos mais perigosos do cosmo, capazes de devastar uma galáxia inteira. Com efeito, os buracos negros supermassivos estão na origem de alguns dos fenômenos mais energéticos do universo.

Por muitas décadas, por exemplo, os quasares — nome que se origina da contração de *quasi-stellar radio source*, isto é, fonte de rádio quase estelar — permaneceram um verdadeiro mistério. Hoje, sua designação mais moderna é qso — *quasi-stellar objects*, ou objetos quase estelares. Eles constituem as fontes de luz mais poderosas do universo e foram descobertos por volta do final dos anos 1950. Foram

inicialmente identificados porque emitiam fortes sinais de rádio; então, ao apontar os telescópios ópticos para as zonas de onde vinha o sinal, os astrônomos registraram sinais luminosos fortíssimos. A região ativa era muito pequena, praticamente puntiforme, como se uma única estrela produzisse aquela maravilha.

Mas nenhuma estrela podia brilhar com uma luz mil vezes mais potente do que a emitida pelos 200 bilhões de estrelas da Via Láctea. Ou seja, naquelas galáxias distantes estava acontecendo algo misterioso, que guardava relação com corpos celestes fora do comum. Conjecturaram-se os fenômenos mais bizarros, mas, por fim, reunindo dados cada vez mais completos, a conclusão foi clamorosa: eram as *estrelas negras* as mais luminosas de todas. Os corpos puntiformes que emitiam aquela potência estavam no centro de galáxias onde se ocultavam buracos negros supermassivos; muitas vezes, os simpáticos “dragões” dormiam placidamente, como os das fábulas, quando ninguém os perturba; em algumas ocasiões, davam prova de toda a sua potência, “cuspidando” fogo, luzes e ondas eletromagnéticas de todos os tipos a distâncias colossais: tratava-se, neste caso, de núcleos galácticos ativos.

Os buracos negros supermassivos encontrados no núcleo de muitas galáxias costumam ser pacíficos, como parece o caso de Sagittarius A*, que engole matéria, desmembra uma ou outra estrela, mas, ao fim e ao cabo, se comporta de maneira muito educada e discreta. Só percebemos sua presença recentemente, porque quisemos a todo custo espiar dentro do núcleo galáctico. Levados pela curiosidade, fomos ver o que acontecia sob a camada de poeira que encobria tudo e descobrimos que Sagittarius A* gosta de brincar de gato e rato com as estrelas que orbitam velozes à sua volta. Não fosse isso, ninguém teria notado nada de estranho.

O núcleo da nossa galáxia, visto de fora, não causa alarme, não emite radiações perigosas, não provoca danos. Mas, no nosso caso, temos sorte. Às vezes o núcleo de uma galáxia entra num estado de excitação paroxística, e aí surgem problemas para todos. É o que acontece quando ali, precisamente em volta do centro, existe uma altíssima densidade de matéria, estrelas, gases e poeira; em suma,

quando há muito a comer, desencadeia-se uma espécie de frenesi alimentar para o buraco negro. Ele se cerca de um enorme disco de acreção e a matéria é desmembrada e forçada a girar ao redor dele num carrossel desembestado, em que as altíssimas velocidades, as colisões e as interações entre os farrapos de matéria produzem fenômenos que aquecem tudo a milhões de graus.

A matéria ionizada e reduzida aos seus componentes elementares produz imensos campos magnéticos que, por sua vez, interagem com o resto do material. Quando há importantes discos de acreção, é frequente ver enormes jatos de partículas e radiação associada, que surgem do buraco negro. Estamos falando de feixes colimados, altamente energéticos, de matéria e radiação, emitidos pelo núcleo ativo numa perpendicular ao plano da galáxia. As imagens coletadas são impressionantes: veem-se imensos filamentos de matéria que, nascidos do centro galáctico, podem se estender por dezenas de milhares de anos-luz. A intensa radiação emitida aparece sob forma lobular, e os lobos que saem da galáxia formam protuberâncias que se estendem por milhões de anos-luz.

Os detalhes do fenômeno ainda não estão totalmente claros. Especula-se que, quando uma parte da matéria ionizada desaparece dentro do horizonte de eventos e aumenta ainda mais o buraco negro, uma fração é desviada para os polos, onde sofre acelerações assombrosas. Vemos no cosmo centenas de aceleradores em operação, muito mais poderosos do que o LHC, produzindo jatos relativísticos semelhantes aos que estudamos no Cern, mas em dimensões comparáveis às de uma galáxia.

Uma pequena fração das galáxias ativas tem os seus jatos orientados exatamente na direção da Terra. Neste caso, podemos observar um espectro de radiação eletromagnética amplificado pela enorme velocidade dos jatos, caracterizado por rápidas e violentas variações de fluxo. Historicamente, esse tipo de fonte foi chamado de *blazar*, a partir do nome do primeiro objeto estranho que manifestou esse comportamento: o BL Lacertae, que se encontrava na constelação do Lagarto e tinha uma luminosidade tão dependente do tempo que se pensava que ele era uma estrela variável da nossa Via Láctea. Com

observações mais acuradas, porém, viu-se que se tratava de uma galáxia a 900 milhões de anos-luz. Quando a origem do comportamento foi correlacionada a um núcleo galáctico ativo, o fenômeno passou a fazer parte dessa classe mais ampla.

Quasares, blazares e núcleos galácticos ativos em geral são fenômenos bastante raros no universo, e, no entanto, foram descobertos às centenas de milhares. Eles quase não ocorrem nas galáxias anãs, ao passo que são bastante frequentes, chegando a uma proporção de um para cinco, nas galáxias elípticas gigantes, resultantes da fusão de várias galáxias.

Uma forte dependência em relação à idade da galáxia também já parece ter sido estabelecida. Existe uma alta fração de quasares, por exemplo, nas galáxias mais antigas, indício de que os núcleos galácticos tiveram um papel fundamental na construção das galáxias primordiais. Como prova desse argumento, o mais antigo quasar identificado remonta a 700 milhões de anos após o Big Bang. Ou seja, eles já estavam presentes nas primeiras grandes estruturas, mas o pico da sua presença remonta a cerca de 10 bilhões de anos, e depois a porcentagem diminui.

Isso parece estar relacionado a um mecanismo de esgotamento progressivo do combustível necessário. O buraco negro concentra em si, queima e recicla toda a matéria que consegue obter nas proximidades por bilhões de anos. O próprio mecanismo e a fortíssima radiação produzida no processo acabam por depauperar todo o núcleo do combustível necessário. Sem novo material, o disco de acreção se interrompe e o processo se extingue por si.

Isso explicaria por que muitas grandes galáxias, como a nossa, mesmo abrigando um enorme buraco negro, não têm núcleos ativos: não sobrou material suficiente. No que se refere à Via Láctea, portanto, podemos dormir tranquilos — a não ser que ela entre em colisão com Andrômeda. Quando isso acontecer, a fusão poderia devolver ao núcleo material suficiente para reativá-lo, e a vida nos planetas da galáxia ficaria bastante complicada.

Ao fim e ao cabo, o papel desses “monstros devoradores” que ocupam o centro de muitas galáxias parece essencial na dinâmica

geral. Os buracos negros gigantescos são, ao mesmo tempo, grandes destruidores e grandes criadores. A dança ensandecida a que obrigam a matéria parece uma reedição espetacular, em escala cósmica, da dança dos dervixes rodopiantes, os sufistas da ordem Mevlevi da cidade turca de Konya. Ela remete ao mito da destruição-criação da dança de Shiva, mas, acima de tudo, mantendo nesse carrossel perigoso grandes quantidades de estrelas por bilhões de anos, concede à matéria aquilo que há de mais precioso: o tempo que lhe é necessário para produzir sistemas solares, planetas e formas de organização cada vez mais complexas.

Permanece o problema de entender como se formam buracos negros com massas milhões ou bilhões de vezes superiores à do Sol. Sabemos que um buraco negro, depois de se instalar no centro de uma galáxia, pode crescer desmedidamente, engolindo aos poucos tudo que o cerca. Mas qual é o ponto de partida? Talvez, antes ainda que brilhassem as primeiras estrelas, as imensas nebulosas de gás primordial tenham se agregado em quase estrelas, objetos altamente instáveis que, em vez de evoluírem para estrelas comuns, colapsaram em buracos negros. Alguns chegam a formular a hipótese da formação de buracos negros primordiais, nascidos menos de um segundo após o Big Bang, quando as enormes flutuações de densidade do universo recém-nascido podiam levar enormes porções de matéria ao colapso gravitacional. O novo campo, cujo centro é ocupado por esses corpos celestes tão volumosos, ainda está repleto de mistérios.

As finas flechas de órion

Enquanto nos interrogamos sobre a origem e a dinâmica desses fenômenos tão turbulentos, passos decisivos são dados para compreender fenômenos que, até pouco tempo atrás, eram totalmente misteriosos. Um deles é a origem dos raios cósmicos.

Desde 1912, os físicos procuram a origem dessa chuva de partículas carregadas que atinge o nosso planeta, vinda de todas as direções, incessantemente. Elas foram registradas com energias 100 milhões de vezes superiores às do LHC, e sua origem permaneceu um mistério até pouco tempo atrás. Foi possível desvendá-lo porque, também nesse caso, reuniram-se instrumentos diferentes para observar o mesmo fenômeno, em mais um sucesso da astronomia multimensageira.

O ponto de partida é um alarme lançado pelo IceCube, um experimento situado na Antártida, especializado na detecção de neutrinos provenientes do espaço profundo.

A detecção dos neutrinos de alta energia, eventos raríssimos, produzidos por fontes cósmicas, requer detectores de dimensões gigantescas. É o caso do IceCube, ou “cubo de gelo”, um nome irônico para um detector que tem o volume de uma montanha, um “cubinho” com um quilômetro de lado.

O experimento foi realizado na Antártida, perto da estação Amundsen-Scott, para aproveitar a manta de gelo puríssimo e transparente que recobre o continente. Os pesquisadores perfuraram o gelo, derretendo-o, numa centena de pontos diferentes a uma centena de metros um do outro e organizados numa grade hexagonal. Desceram a mais de dois quilômetros de profundidade e depois baixaram, em cada poço, sofisticados detectores de fótons. Quando a água voltou a congelar ao redor deles, os milhares de detectores ficaram sepultados na escuridão profunda do gelo. E os seus olhos eletrônicos e ultrassensíveis começaram a perscrutar a mais total escuridão em busca dos mais minúsculos raios de luz, aqueles produzidos pelos neutrinos mais desafortunados, que morrem ao bater

contra um núcleo enquanto atravessam a espessa manta de gelo.

A colisão de alta energia produz enxames de partículas carregadas, às vezes acompanhadas de *múons*, uma espécie de elétron muito mais pesado, que são emitidos na mesma direção dos neutrinos e de repente começam a viajar mais rápido do que a luz naquele meio. O único modo de evitar os reveses do acaso é agir como um caça ao ultrapassar a barreira do som. Mas, em vez de sair com um fragoroso *bang* acústico, os múons se limitam a emitir minúsculos raios de luz ultravioleta distribuídos num cone característico. Esse efeito foi registrado pela primeira vez nos anos 1950 por Pavel Aleksevitch Tcherenkov, recebendo o seu nome.

Assim, quando um neutrino interage, os detectores do IceCube registram uma sequência de sinais característicos que permitem medir ao mesmo tempo a sua energia e a direção de onde provém. É esta a informação mais importante, pois permite remontar à fonte que emitiu esses mensageiros delicados e leves. Os neutrinos cósmicos voam em linha reta, imperturbáveis, ignorando as distribuições de massa e energia que atravessam, totalmente insensíveis aos campos magnéticos que ocupam as galáxias e até os espaços intergalácticos. Detectá-los significa identificar a galáxia de onde provém e começar a entender o mecanismo que os gerou.

Desde que começou a recolher dados, o IceCube logo detectou alguns eventos espetaculares, que surpreenderam a todos: neutrinos de energia assustadora, centenas de vezes superior à que conseguimos produzir no LHC, o acelerador mais poderoso do mundo. Ninguém, até então, podia imaginar que vagassem pelo universo neutrinos tão energéticos, e prontamente estava lançado o desafio para entender que assombroso acelerador cósmico poderia produzir essas partículas.

Em 22 de setembro de 2017, os detectores do IceCube registraram a interação de um neutrino de 300 TeV, de onde nasceu um múon que deixou um espetacular traço luminoso revelado por centenas de fotossensores. Os dados eram decididamente claros e a direção de voo do neutrino apontava para uma galáxia distante, conhecida por ser muito ativa na emissão de radiações de diversos comprimentos de onda. Ela se encontra a cerca de 4 bilhões de anos-luz de distância,

nas proximidades da constelação de Órion, o grande arqueiro que reluz no céu, memória perene do gigante caçador morto pela mão de Ártemis.

Narra o mito que Apolo, contrariado pela atração que a irmã sentia pelo mortal tão hábil na caça, levou-a, com falsos pretextos, a matar o amado. Zeus, tomado de compaixão pelas lágrimas da filha e pelos lamentos inconsoláveis do fiel cão Sirius, companheiro de tantas caçadas, acolheu ambos entre as constelações mais brilhantes. E no céu, acima das nossas cabeças, podemos observá-los ainda hoje, caçando juntos e desferindo flechas na direção do Touro.

Mas, nesse caso, Órion lançou em nossa direção outras flechas, mais finas e penetrantes do que as que usava para abater cervos e javalis. Os neutrinos detectados pelo IceCube vêm da galáxia TXS 0506 + 056, uma daquelas siglas complicadas a que os astrônomos precisam recorrer para nomear a infinidade de galáxias que ocupam a abóbada celeste. Os físicos, porém, não gostam de complicações, e a galáxia foi rebatizada com um nome que contém as três consoantes de base, mas muito mais simples de lembrar: Texas Source.

Os pesquisadores que cuidam da recepção de dados do experimento lançam um alerta para todos os observadores do mundo: “Cientistas do planeta Terra, olhem para a Texas Source; alguma coisa está acontecendo lá em cima”. O aviso é recebido por dezenas de observadores, que então apontam seus instrumentos na direção indicada, e é aí que vem o bonito da coisa. Nos dias seguintes, outros dois equipamentos, especializados na detecção de fótons de alta energia, registram raios gama sem dúvida provenientes da mesma fonte. Não há mais dúvida de que a Texas Source está dando um espetáculo.

Sabia-se desde algum tempo que TXS 0506 + 056 era um objeto muito estranho. Trata-se de uma galáxia elíptica dominada por um enorme buraco negro em rápida rotação em torno do próprio eixo. O colosso tem uma massa gigantesca, estimada em centenas de milhões, se não bilhões, de massas solares, e é adornado por um enorme disco de acreção e dois gigantescos jatos polares. Um deles está direcionado para a Terra, o que faz dele um blazar.

Nas assombrosas acelerações que se produzem na Texas Source, além de neutrinos, são produzidos raios gama, fótons de altíssima energia que acendem os instrumentos de Fermi e Magic, os dois instrumentos mais sensíveis, um em órbita ao redor da Terra, o outro com seus dois telescópios na ilha de La Palma, nas Canárias.

É o sinal com que todos sonhavam. Uma coincidência tão espetacular não pode ser fortuita: se junto com os fótons são emitidos também os neutrinos, esta é prova de que o gigantesco mecanismo alimentado pelo buraco negro da Texas Source acelera prótons, exatamente como um LHC de dimensões descomunais.

Assim começamos a entender um dos maiores mistérios da física moderna, e quem nos dá esse presente são as galáxias distantes, alimentadas por gigantescos buracos negros.

Com isso termina o sexto dia; passaram-se os primeiros 4 bilhões de anos e o universo já está povoado por uma infinidade de galáxias. Entre elas há uma, muito pacífica, com um núcleo galáctico agora tranquilo, onde alguma coisa está para acontecer.

* Os resultados dessa pesquisa ainda estão sendo avaliados pela comunidade científica. (N. R. T.)

Sétimo dia

Um fervilhar de formas complexas

NA VIA LÁCTEA AGORA TUDO gira estavelmente, há bilhões de anos, em torno de um núcleo central. A fase turbulenta da vida da nova galáxia, sua tempestuosa adolescência, já terminou há tempos.

Sagittarius A*, depois de ter engolido todas as estrelas, gases e poeira que cercavam o núcleo original, dorme tranquilo, saciado como Polifemo em sua caverna, o monstro que Ulisses tornara inofensivo com vinho. O disco de acreção do grande buraco negro, não mais alimentado desmedidamente, diminuiu de tamanho, e os jatos relativísticos com que irradiava todo o espaço ao redor, abalando estrelas e sistemas em formação, foram aos poucos desaparecendo. Mesmo as galáxias gigantes a menor distância, as primas mais próximas da família que constitui o grupo local, Andrômeda e o Triângulo, deixaram de se manifestar em perigosos fogos de artifício. As erupções de raios gama emitidos pelos núcleos ativos das galáxias mais distantes são inofensivas. Agora, na paz que se instaurou, não mais rompida pela sequência de catástrofes que caracterizaram o nascimento da galáxia, há tempo para que se desenvolvam sistemas organizados cada vez mais complexos.

Ao começar o sétimo e último dia, passaram-se mais de 9 bilhões de anos. Alguma coisa acontece numa área secundária em relação às quatro grandes estruturas que compõem a imensa espiral. Entre os grandes braços de Perseu e de Sagitário, no exato ponto em que se bifurca um pequeno braço chamado Órion, pululam formações estelares muito jovens, que encontram alimento em gigantescas nuvens moleculares. Nessa zona, gerações de estrelas gigantescas, que se sucederam nos bilhões de anos anteriores, dispersaram todo o material acumulado em suas imensas fornalhas nucleares.

Explodindo como supernovas, elas disseminaram poeira e gás nos grandes espaços, que contêm principalmente hidrogênio e hélio, mas possui traços de todos os elementos: carbono, nitrogênio, oxigênio,

silício e assim por diante, até o ferro. Algumas grandes estrelas, transformadas em estrelas de nêutrons, ao colidirem entre si enriqueceram as nuvens com pequenas concentrações mesmo dos elementos mais pesados, como chumbo e urânio.

Enquanto estiverem quentes e continuarem a se expandir, reminiscentes das grandes explosões que lhes deram origem, não há nada que consiga agregar essas nuvens imensas. Mas, conforme elas se esfriam e têm sua velocidade reduzida, a gravidade prevalece sobre o impulso de expansão e em torno dos grumos de matéria constrói centros de agregação cada vez mais massivos. Assim se forma um grande disco de gás e poeira que gira em torno do centro, onde se adensa a maior parte da massa, sobretudo hidrogênio. Dentro da galáxia se forma uma réplica reduzida da própria galáxia: uma porção da grande nuvem colapsa sob a força da sua própria gravidade e forma uma nebulosa solar em cujo centro está nascendo uma estrela, enquanto ao redor se forma uma espécie de disco de acreção, no qual se distinguem outros centros de agregação menores distribuídos nos vários anéis: um disco protoplanetário.

De repente o Sol começará a brilhar e os grandes planetas gasosos se formarão. Depois, mais lentamente e seguindo um percurso mais acidentado, os planetas rochosos nas órbitas mais internas se agregarão.

Um deles será especialmente afortunado. A colisão catastrófica com um outro planeta em formação, em vez de devastá-lo para sempre e desfazê-lo em mil fragmentos, irá presenteá-lo com um grande satélite, que ajudará a estabilizar sua órbita nos bilhões de anos seguintes. Ele será atingido, como os outros, por uma chuva de cometas e meteoros que o enriquecerão com elementos importantes, e tudo isso, junto com a atividade vulcânica que o acompanhará, terá um papel decisivo para os desenvolvimentos seguintes.

O grande planeta rochoso tem dimensões que produzem uma força de gravidade suficiente para permitir que se envolva com uma atmosfera gasosa; seu núcleo de metal fundido irá dotá-lo de um campo magnético, e esses dois elementos lhe servirão como escudo de proteção contra as múltiplas ameaças à espreita nas profundezas do

cosmo.

Ele orbitará em torno do Sol a uma proximidade suficiente para receber energia que lhe permita sair do frio cósmico que o rodeia, mas não a ponto de receber um calor incompatível com muitas reações químicas. A água, que o recobrirá em ampla medida, poderá permanecer em estado líquido por bilhões de anos, e é precisamente nas suas profundezas que nascerão formas químicas muito peculiares. Estruturas simples, mas dotadas de um mecanismo genial, que potencializa as capacidades de adaptação e desenvolvimento: sistemas químicos que englobam e transformam moléculas elementares em estruturas mais articuladas. São as primeiras formas de vida, que podem evoluir e se reproduzir respondendo às condições do ambiente.

O passo maior foi dado. Foi necessário cerca de 1 bilhão de anos desde a formação do sistema solar, e no planeta Terra estão se desenvolvendo organismos vivos primordiais. A partir desse momento, lenta mas inexoravelmente, as formas químicas complexas, capazes de se adaptar às mudanças e colonizar zonas cada vez mais vastas do planeta, se sucederão umas às outras, intercalando períodos de grande sucesso com o fim dessa ou daquela espécie, e eras de crises e extinções em massa.

A organização do ser vivo oferece tantas vantagens que dará origem ao desenvolvimento de formas cada vez mais complexas, dos organismos unicelulares a plantas e animais, inclusive nós. Estamos quase no final da história quando, em alguns estranhos macacos antropomorfos, com fortes relações sociais, a seleção natural desenvolverá um novo instrumento que lhes fornecerá mais uma vantagem evolutiva: a capacidade de imaginar, ter uma visão do mundo e alguma forma de consciência de si. A partir de então, essa estranha espécie animal se difundirá em todos os cantos do planeta e se dotará de instrumentos cada vez mais complexos até construir uma visão de mundo cada vez mais sofisticada, organizando em torno dela sua grande narrativa das origens.

Termina o sétimo dia e o gênesis se encerra, passados 13,8 bilhões de anos.

O Sol e os seus errantes

De repente, uma porção da grande nuvem molecular começa a colapsar em torno de uma zona de densidade mais elevada do que as outras. Estamos no braço de Órion, uma porção tranquila da galáxia, a uma distância segura do núcleo que, mesmo menos turbulento que no início, continua a ser uma região sujeita a agitações periódicas.

A gravidade faz convergir hidrogênio, gás e poeira na direção da região onde a concentração é máxima, e tudo começa a orbitar em torno do centro de atração. Para a conservação do momento angular se forma um enorme disco plano, em cujo interior a região central de maior densidade continua a crescer. No olho dessa espécie de enorme vórtice ciclônico se concentra sobretudo hidrogênio molecular; no centro do disco, comprimido pela atração gravitacional que continua a aumentar, forma-se um corpo esférico gigantesco, em cujo interior se desencadeiam as primeiras reações de fusão termonuclear: nasceu uma nova estrela.

As dimensões do Sol são grandes o bastante para produzir temperaturas superficiais de muitos milhares de graus e para levar energia a grandes distâncias. Mas ele é uma estrela anã, e seu pequeno porte lhe oferece a vantagem de consumir lentamente o hidrogênio ionizado e comprimido que a compõe. O novo astro poderá continuar a brilhar por 10 bilhões de anos. Um grande intervalo de tempo, suficiente para permitir o desenvolvimento de um sistema estável de planetas e satélites que terão à disposição, por sua vez, bilhões de anos para acompanhar lentíssimos processos de transformação.

O termo “planetas” deriva de *planetes asteres*, estrelas errantes, como os gregos chamavam os astros que se deslocavam no céu noturno, em comparação com as estrelas fixas. Consideravam-se estrelas errantes o Sol, a Lua e os cinco corpos celestes visíveis a olho nu: Marte, Mercúrio, Júpiter, Vênus e Saturno. Os sete planetas logo serão associados a algumas das principais divindades, adotando suas características. O ardente e cintilante Mercúrio, que, atravessando

com enorme rapidez o céu, se tornará o ágil mensageiro dos deuses; o reluzente Marte, com a cor turva e sanguínea que exhibe quando se encontra a baixa altura no horizonte, será o deus da guerra, e assim por diante. Os sete definirão a sequência dos dias da semana; do grego passarão para o latim, e do latim passarão para as línguas românicas e quase todas as línguas europeias tout court, para chegar, intactos, até os nossos dias. Os habitantes do planeta Terra são há tanto tempo tão afeiçoados aos “errantes” que usam seus nomes para marcar a passagem do tempo.

Mas agora, enquanto o Sol começa a brilhar no centro da nebulosa, os vários anéis de matéria que o rodeiam, por sua vez, estão se agregando em torno das zonas onde a densidade é máxima. Estão se formando assim os quatro gigantes gasosos, que ocupam as órbitas mais externas: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Tudo aconteceu num arco de tempo relativamente breve, cerca de 100 mil anos. Será necessário muito mais, dezenas de milhões de anos, para agregar os planetas rochosos.

O Sol, como todas as outras estrelas, também dá um grande espetáculo na primeiríssima fase da sua vida. A luminosidade e as radiações que emite são muito mais intensas do que as de hoje. Aquecidos a alta temperatura e levados pelo vento de partículas carregadas produzidas pelas tempestades magnéticas do Sol, o hidrogênio e os demais componentes leves da nebulosa original são varridos das órbitas mais próximas. Impulsionados na direção das zonas ocupadas pelos grandes gigantes gasosos, são capturados e engolfados em suas grandes massas. Enquanto a nebulosa protoplanetária começa a se tornar ordenada e transparente, a parte interna do sistema solar acaba por se enriquecer gradualmente com elementos mais pesados.

Os grãos de poeira que orbitam nas zonas mais próximas do Sol, e que a radiação e o vento solar não conseguem dispersar por causa da sua massa, colidem entre si e começam a se agregar em corpos cada vez maiores. Quando alcançam dimensões de ordem quilométrica, a atração gravitacional que exercem ao redor forma agregações cada vez maiores, até produzir uma miríade de corpos rochosos. São os

chamados *planetesimais*, ou planetas infinitesimais, as sementes das quais nasceram os planetas, os satélites e os asteroides rochosos do nosso sistema solar.

Mercúrio, Vênus, Marte e a Terra, os planetas rochosos internos a Júpiter, nascerão de agregação e fusão por colisões caóticas de milhares desses pequenos corpos celestes. Com o aumento das dimensões, a parte mais pesada do material, tipicamente o ferro e o níquel, se concentrará no coração do planeta em forma sólida; a pressão devida à gravidade produzirá ali temperaturas de milhares de graus, que irão liquefazer o núcleo metálico mais externo. Rochas e elementos mais leves boiarão por cima, concentrando-se nas camadas superiores; camadas de rocha líquida revestirão o núcleo metálico, enquanto na superfície, com o resfriamento de tudo, forma-se lentamente uma crosta rochosa sólida, cada vez mais espessa.

Assim se constitui, cerca de 4,5 bilhões de anos atrás, um sistema solar muito articulado: oito planetas, um certo número de planetas anões, centenas de satélites, milhares de corpos celestes de dimensões subplanetárias e mais de 100 mil asteroides. Entre os oito planetas, há um que ocupa uma posição especialmente privilegiada, contando com uma boa sorte sem igual.

Ainda bem que Theia nos devastou

Às vezes, mesmo na nossa vida, verdadeiros golpes de sorte se apresentam como infelizes contratempos. Passageiros desesperados por terem perdido o voo porque chegaram atrasados ao aeroporto depois descobrem que, por puro acaso, evitaram um acidente de avião que não deixou sobreviventes. Mas o evento também pode ser mais trivial, uma derrota, um insucesso profissional que nos obriga a mudar de profissão ou uma profunda desilusão amorosa que rompe uma relação importante; e aqui também, talvez anos depois, olhamos para trás e percebemos que aquilo que parecia o período mais triste da nossa existência marcou, na verdade, uma guinada, abriu novos caminhos ou permitiu encontrar a pessoa pela qual nos apaixonamos pra valer.

Mas nada se compara ao que aconteceu com o nosso planeta, logo no começo da sua vida. Passaram-se cerca de 100 milhões de anos desde que a terceira órbita a contar do Sol foi ocupada por um grande planeta rochoso. Daremos a ele o nome de Gaia, o antigo nome da Terra. Ele se formou, como os outros, por agregação progressiva de planetesimais e atravessou períodos de grande turbulência, caracterizados por colisões e grandes perturbações gravitacionais. Agora o pior parece ter passado, e, no entanto, uma ameaça terrível espera por ele.

Um outro corpo celeste, menor do que Gaia, mas mesmo assim de dimensões consideráveis, tem uma órbita que o leva inevitavelmente a colidir com ela. É o cenário de pesadelo imaginado no filme *Melancolia*, dirigido pelo diretor dinamarquês Lars von Trier e lançado em 2011.

O planetoide que está para nos atingir tem uma massa semelhante à de Marte e o chamaremos de Theia. Poderosas forças de maré devastam os dois corpos antes mesmo que a colisão se dê. Depois vem o choque, que tem um impacto devastador. A energia desenvolvida na colisão leva os dois corpos a se fundirem por longos momentos, com

ondas de choque que os atravessam rapidamente; depois, uma parte de Theia, mesclada com material de Gaia, desprende-se do abraço mortal e tenta escapar, mas continua presa para sempre no campo gravitacional de Gaia: nasce a nossa Lua. Como no antigo mito, Theia, a titã, a deusa por excelência, filha de Urano e de Gaia, dá origem a Selene, “a resplandecente”.

Gaia, por sua vez, depois de absorver o trauma do choque e da separação da Lua, reencontrou sua forma esférica, aumentou ainda mais de dimensões e já se tornou o planeta Terra. A hipótese da colisão catastrófica primordial na origem do sistema Terra-Lua encontrou numerosas confirmações na análise das rochas lunares coletadas durante as várias explorações do nosso satélite. Em alguns isótopos do oxigênio que se encontram em seu interior permaneceu uma espécie de marca fóssil do caloroso abraço primordial que o ligou à Terra.

A Lua não serve apenas para clarear as nossas noites, despertar devaneios nos apaixonados e inspirar músicos e poetas. Esse estranho satélite, tão excêntrico em comparação aos outros que povoam às centenas o sistema solar, tem um papel fundamental na estabilização da órbita do nosso planeta. O sistema Terra-Lua age como uma espécie de giroscópio estabilizador no movimento de revolução em torno do Sol.

A Terra é o único planeta rochoso a ter um satélite de grandes dimensões, com um diâmetro de 3.500 quilômetros, cerca de um quarto do diâmetro terrestre. Mercúrio e Vênus não têm satélites, enquanto Fobos e Deimos, as duas minúsculas luas de Marte, são pequenos elipsoides com 22 e 12 quilômetros de diâmetro, respectivamente. Mercúrio, Vênus e Marte estão expostos às perturbações gravitacionais devidas ao Sol e aos outros corpos mais massivos do sistema solar, e o ângulo entre o seu eixo de rotação e o plano da órbita é instável. Numa escala temporal de milhões de anos, ele pode sofrer variações importantes, mudar até dezenas de graus e atravessar períodos de alterações caóticas.

O mesmo aconteceria com a Terra se não houvesse a Lua, tão pesada e tão próxima que atenua as perturbações que modificariam o

nosso eixo de rotação. O ângulo entre o eixo e o plano da órbita é estabilizado pela presença da Lua, em variações da ordem de um grau. Se a inclinação da Terra em relação ao Sol se mantém fixa, zonas climáticas relativamente estáveis podem se estabelecer numa extensa escala temporal, o que favorece o desenvolvimento de lentos processos de formação dos sistemas complexos. Se fizéssemos à Lua a pergunta do pastor errante da Ásia: “O que fazes, Lua, no céu? Diz-me, o que fazes, silenciosa Lua?”, a resposta talvez não fosse muito poética, mas seria certamente inesperada: “Sem mim não teríeis estações, talvez tampouco existisse vida na Terra, nem pastores errantes a me interrogar enquanto me contemplam”. O fato de termos sido devastados por Theia foi para nós uma verdadeira sorte.

E não foi a nossa única sorte. A outra foi ter nas proximidades o gigantesco Júpiter. O grande planeta gasoso, o maior do sistema solar, tem 143 mil quilômetros de diâmetro e massa trezentas vezes maior que o da Terra. É tão fora do comum que até hoje se discute se ele deve ser considerado um planeta ou uma pequena anã marrom. Quando a massa inicial da esfera de gás não é suficientemente grande, a pressão e a temperatura do núcleo não conseguem desencadear as fusões termonucleares; apesar disso, o corpo é tão quente que mesmo assim irradia uma quantidade notável de energia. A estrela fracassada se torna um astro morno, que irradia a uma temperatura muito baixa; sua luz não é energética como a azul, branca ou amarela, mas tende para o vermelho escuro e é chamada de anã marrom.

Júpiter, estrela fracassada, tem, porém, uma massa tão grande que condicionou o desenvolvimento de grande parte do sistema solar. Sendo um dos primeiros a se formar, com sua tremenda força de gravidade impediu a formação de um planeta rochoso na chamada faixa dos asteroides, uma ampla região entre ele e Marte. Ao impelir uma grande quantidade deles para o espaço exterior, impediu que os outros se consolidassem num corpo massivo. Na zona orbitam ainda milhares de detritos rochosos, resíduos daqueles que foram perturbados catastroficamente pela atração do volumoso vizinho, que os obrigou a contínuas colisões a cada vez que tentavam se organizar como um planeta. A fracassada formação de um quinto planeta

rochoso deixou mais material disponível, estruturado em planetesimais, para a formação dos planetas internos, inclusive a Terra. Nosso planeta pôde, assim, adquirir dimensões suficientes para manter estavelmente sua preciosa atmosfera.

O gigante bondoso, Júpiter, e com ele Saturno, ornado de anéis, agem como sentinelas para a proteção dos planetas internos. Com suas massas, eles atraem e engolfam asteroides e cometas perigosos. Como gigantes guardas-costas, protegem-nos do risco de encontros demasiado próximos com objetos muito perigosos. Nem sempre conseguem, como ocorreu 65 milhões de anos atrás, quando um objeto de dez quilômetros de diâmetro, rico em irídio, conseguiu atingir nosso planeta. Mas eventos tão destrutivos, graças à presença deles, tornaram-se raros para nós.

O grande escudo de Júpiter nos protege de eventos catastróficos que poderiam pôr em risco a sobrevivência das delicadas formas de vida que se desenvolverão na Terra. Por isso somos devedores do planeta gigante, Júpiter, o regulador, o pacificador, que não por acaso os gregos identificaram com Zeus, capaz de moderar os conflitos entre os deuses.

O berço da complexidade

O segredo da Terra se oculta no seu mais profundo interior. Por cima do núcleo sólido e da casca de metal fundido flutua uma camada espessa de rocha líquida. Desde os primórdios da formação do planeta, o ferro e outros metais pesados se diferenciaram dos componentes mais leves. Os primeiros se adensaram nas camadas mais internas, enquanto os outros se agregaram para formar uma espessa camada rochosa externa. O calor da contração gravitacional fundiu toda a parte interna, enquanto se criou, com o resfriamento, uma fina crosta rochosa superficial que flutua num mar de rochas fundidas. Processos de decaimento radioativo de isótopos instáveis alimentam o calor do núcleo com a sua energia e contribuem para manter a temperatura elevada, numa escala de milhares de graus.

As grandes placas rochosas da crosta estão em contínuo movimento, impulsionadas pela energia das enormes células de convecção que se formam no manto subjacente de rocha fundida. Nos choques titânicos daí decorrentes, criam-se deformações que geram montanhas e profundos vales que serão preenchidos pela água dos oceanos. Pelas rachaduras formadas chega à superfície o magma incandescente que ruge sob a crosta. O deus do fogo, Vulcano, o ferreiro, trabalha incessantemente em sua grande oficina subterrânea para construir um ambiente que se tornará maravilhoso.

Na sua fase inicial de formação, a Terra será atravessada por fenômenos vulcânicos de dimensões e intensidade assustadoras. Esse vulcanismo paroxístico trará para a superfície um fluxo contínuo de substâncias químicas dissolvidas nos gases e nas rochas fundidas que emergiram para constituir uma nova crosta. Lentamente se formará uma atmosfera composta sobretudo de vapor de água, nitrogênio e dióxido de carbono, que o campo gravitacional do grande planeta rochoso será capaz de reter.

A água já estava presente na poeira da nuvem protoplanetária, e suas moléculas se mesclaram às que formaram as rochas do manto

terrestre. Uma grande parte dela se perderá na evaporação durante as fases mais quentes da formação do planeta, mas as contínuas erupções vulcânicas a trarão de volta à superfície em forma de vapor. A maior parte da água do planeta vem do fluxo incessante de asteroides e cometas que continua a atingi-lo. O bombardeio contínuo de meteoroides de natureza carbonácea, ricos em água, e os verdadeiros icebergs cósmicos que são os cometas enriquecerão a Terra com o novo elemento.

Quando o universo celebra seus 10 bilhões de anos, grandes oceanos recobrem grande parte da superfície do nosso planeta. As erupções vulcânicas alimentam a alta concentração de dióxido de carbono na atmosfera, cujo efeito estufa permitirá que a maior parte dos oceanos se mantenha em estado líquido por longuíssimos períodos.

Fenômenos análogos aos que atingiram a Terra levaram água para muitos corpos celestes do sistema solar. Ela está presente em forma de vapor nos gigantes gasosos como Júpiter, Saturno e Urano, e também nas nuvens que recobrem Vênus. Há gelo nas calotas polares de Marte, enquanto Europa, o menor dos satélites galileanos de Júpiter, descoberto por Galileu, é recoberta por um imenso oceano gelado com mais de cem quilômetros de profundidade; abaixo da camada superficial, especula-se que haja uma grande abundância de água em estado líquido. Titã, grande satélite de Saturno, contém muito mais água do que a Terra, mas também, pelo que sabemos, em forma de gelo; há água em estado líquido, provavelmente, em Encélado, outra lua do gigante anelado.

O coração incandescente da Terra nos oferece outra dádiva, que se mostrará de grande importância para os desenvolvimentos subsequentes. As camadas concêntricas de ferro líquido, que giram em velocidades diferentes ao redor do núcleo sólido mais interno, arrastam consigo partículas carregadas e produzem uma enorme corrente circular da qual nasce o sutil campo magnético que envolve o planeta. A estrutura invisível, que desvia as partículas carregadas para os polos, irá protegê-lo dos efeitos mais destrutivos da radiação cósmica, capaz de destroçar facilmente as ligações das organizações químicas mais complexas. Agora já temos todos os ingredientes para

dar vida a uma cadeia de acontecimentos diretamente relacionados conosco.

Carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre, que servem de base para as principais moléculas orgânicas, estão presentes aqui e ali em todos os lugares do universo, e também eram abundantes nos ambientes da Terra primordial. A partir desses elementos, surgem os precursores das principais biomoléculas que encontramos nos seres vivos, produzidos no fundo dos oceanos, perto dos vulcões submarinos ou de fontes hidrotermais; é nesses ambientes muito específicos, onde a água em alta temperatura e enriquecida com sais se mescla a gases de vários gêneros, que podemos ver o surgimento das primeiras estruturas biológicas. Reações químicas que transformaram o monóxido de carbono, o amoníaco e o formaldeído em aminoácidos, lipídios, polissacarídeos e ácidos nucleicos; e puderam operar por tempo suficiente para construir as primeiras proteínas e organizar a informação nas formas mais primitivas de DNA.

É preciso considerar também a hipótese de que bactérias ou outros organismos vivos muito simples, capazes de sobreviver em condições extremas de temperatura, possam ter chegado à Terra por meio dos asteroides e cometas que a bombardearam incessantemente durante o primeiro bilhão de anos. Encrustadas nos detritos rochosos ou na poeira misturada com gelo dos cometas, formas de vida primordial, originadas em outros lugares e lançadas no espaço por grandes colisões ou gigantescas erupções, poderiam ter disseminado material vivo pelo sistema solar inteiro. Se as primeiras formas de vida chegassem ao nosso planeta vindas do espaço, certamente encontrariam um ambiente favorável.

O certo é que, 3,5 bilhões de anos atrás, sob o manto protetor da água dos oceanos, protegidas do bombardeio de raios ultravioleta, começaram a se desenvolver as primeiras estruturas biológicas elementares: as cianobactérias, minúsculas algas cujo desenvolvimento desencadeará outra mudança fundamental; são organismos monocelulares que se organizam em minúsculos filamentos, têm dimensões inferiores a um milésimo de milímetro e são *procariotas*, isto é, o seu patrimônio genético flutua livre no interior da célula, sem

a proteção de qualquer membrana.

As cianobactérias são capazes de capturar a luz e transformá-la em energia — o processo chamado de fotossíntese —, e aperfeiçoarão esse mecanismo, adaptando-o aos diversos ambientes em que desenvolverão suas colônias.

Essa reação bioquímica, que a partir do dióxido de carbono e da luz solar leva à síntese de açúcares e à liberação de oxigênio, modificou radicalmente o ambiente terrestre. No início, o oxigênio produzido pelas algas foi absorvido pelo ferro, que se encontrava em abundância no fundo dos oceanos. Mas, com o crescimento desmesurado da população de cianobactérias, a parte de oxigênio que o ferro não conseguia mais absorver emergiu das águas e aconteceu uma hecatombe. A composição da atmosfera terrestre mudou radicalmente, acabando por se tornar cada vez mais tóxica para todos aqueles organismos que não se adaptaram às novas condições ambientais. Foi a primeira grande extinção de uma enorme variedade de formas de vida primordiais, mas abriu caminho para o desenvolvimento impetuoso de novas espécies.

Cerca de 2,4 bilhões de anos atrás, a Terra possuía uma atmosfera com um pequeno percentual estável de oxigênio; para nós, humanos, o ar ainda seria irrespirável, mas o processo já era irreversível.

Organismos vivos herdeiros dos primeiros procariotas desenvolveram um núcleo de proteção para o material genético, e a vantagem evolutiva que obtiveram determinou o sucesso dos *eucariotas*. A nova atmosfera, mais rica em oxigênio, parece ter favorecido o desenvolvimento dos primeiros organismos pluricelulares, que descobertas recentes situam por volta de 2 bilhões de anos atrás. A partir daí, houve a proliferação de uma variedade de formas biológicas cada vez mais complexas, que atravessaram diversas fases de crises e de expansão e, modificando-se, sobreviveram às terríveis extinções em massa.

Uma verdadeira fantasmagoria de novas estruturas vivas ocorreu cerca de 500 milhões de anos atrás, quando a Terra passou por uma fase de enorme aquecimento, provavelmente em decorrência de um efeito estufa gigantesco. Os níveis de dióxido de carbono do

Cambriano atingiram valores cerca de vinte vezes superiores aos da época moderna, com a temperatura média do planeta dez graus acima da atual. O resultado foi uma verdadeira explosão de vida, com o surgimento de formas vegetais muito variegadas e dos primeiros vertebrados, dos peixes e, mais tarde, dos primeiros répteis.

Um novo cataclismo modificou radicalmente o cenário. Com o impacto de um grande corpo celeste, 65 milhões de anos atrás, o clima sofreu uma profunda transformação, devido à poeira levantada pela colisão. Um frio repentino envolveu a Terra, provocando a extinção em massa dos grandes dinossauros e fornecendo ao mesmo tempo uma inesperada oportunidade para os pequenos mamíferos que conseguiram sobreviver e ocuparam todos os nichos ecológicos que ficaram desocupados.

Num desses nichos, uma zona de gargantas e savanas do Chifre da África, alguns milhões de anos atrás, uma população de primatas se diferenciara das espécies anteriores graças a uma forte atitude social e uma capacidade até então inédita de imaginar, construir e utilizar instrumentos. Essa centelha de consciência de si, que se traduz em projeto, visão e construção de utensílios, constituirá uma enorme vantagem evolutiva para os primeiros macacos antropomorfos. Gerações sucessivas dos primeiros hominídeos logo colonizarão todos os habitats do planeta, adaptando-se rapidamente às diversas condições ambientais.

Aí está. Num piscar de olhos, a narrativa chegou a nós.

Exoplanetas

A ideia de que o universo pode conter muitos mundos habitados remonta aos filósofos pré-socráticos da Jônia. Essa intuição é atribuída a Anaximandro de Mileto, discípulo do genial Tales, que foi também o primeiro a propor a ideia revolucionária de que a Terra flutua no espaço, sem cair e sem se apoiar em nada.

O conceito de *mundos infinitos* será retomado antes pelos pitagóricos e depois, com grande lucidez, por Epicuro e seus seguidores da época romana, a partir de Lucrécio. A ideia será sufocada durante séculos pelo aristotelismo imperante, para ressurgir timidamente com Guilherme de Occam e, por fim, explodir no Renascimento com Nicolau de Cusa e Giordano Bruno. Foi o filósofo de Nola quem semeou por toda a Europa, com grande determinação, a ideia dos *inumeráveis Sóis e Terras*; essa atividade pública de divulgação de ideias perigosas, para além dos círculos restritos dos especialistas, determinou seu trágico fim no Campo de' Fiori.

Hoje a ciência confirma as intuições desse time de pensadores corajosos, e, no entanto, ainda não sabemos responder à mais simples das perguntas: existe vida inteligente em algum lugar lá em cima? A lei dos grandes números sugere que sim, parece muito provável, mas as provas coletadas até hoje não são suficientes para chegar a uma conclusão.

A situação vem evoluindo rápido nos últimos trinta anos, isto é, desde que se realizaram enormes progressos na busca por *exoplanetas*. Esse nome designa os planetas extrassolares, isto é, que orbitam uma estrela diferente do nosso Sol. Até pouco tempo atrás, pensava-se que a fração de estrelas que hospeda planetas era muito pequena. Nos últimos anos, ou seja, desde que as técnicas para identificá-los se tornaram mais refinadas, não passa um mês sem o anúncio de uma nova observação. Até hoje foram descobertos mais de 4300.

As primeiras pesquisas remontam aos anos 1940. Mas na época eram utilizadas técnicas de observação bastante grosseiras, como os

métodos astrométricos. Pelas leis da gravitação, na presença de um planeta, a estrela-mãe efetua, ela também, uma pequena rotação em volta do centro de massa do sistema. Quanto mais massivo for o planeta, maior será o deslocamento periódico da estrela. Procurava-se, então, uma pequena perturbação periódica na posição da estrela-mãe, mas os resultados foram frustrantes.

As primeiras surpresas vieram com a técnica das velocidades radiais, que explora o mesmo princípio, mas usa medidas espectroscópicas que permitem um grau maior de precisão. Analisa-se o espectro de emissão luminosa da estrela e se verificam no tempo as linhas correspondentes às várias frequências. Se a estrela apresenta um movimento orbital causado pela presença de um planeta, verifica-se uma pequena variação periódica na frequência da sua emissão luminosa, devido ao efeito Doppler.

Foi graças a essa nova técnica que se descobriram nos anos 1990 os primeiros planetas extrassolares. Eram corpos celestes enormes, semelhantes ao nosso Júpiter. Gigantes quentes, principalmente gasosos, que gravitavam muito perto de suas estrelas-mães e tinham, portanto, uma temperatura superficial assombrosa.

O campo recebeu um impulso extraordinário com o aperfeiçoamento do método do trânsito astronômico, ou da ocultação, graças ao qual é possível manter sob observação simultânea centenas de milhares de estrelas. Essa técnica é baseada na fotometria de precisão, isto é, a luminosidade da estrela é mantida sob controle e se mede a levíssima atenuação da luz produzida pelo planeta quando transita à sua frente. Também nesse caso é necessário que a perturbação tenha caráter periódico. A forma característica da perturbação permite medir as dimensões do planeta, e essa informação, combinada com a medida da velocidade radial que dá a massa, permite conhecer sua densidade.

A sensibilidade alcançada pelos instrumentos mais modernos é tão grande que o campo de observação pode se estender por milhares de anos-luz e é possível identificar até mesmo planetas menores do que Mercúrio.

Assim, desde alguns anos, a busca por novas Terras tem gerado

resultados clamorosos. Agora já está claro que muitíssimas estrelas da nossa galáxia são rodeadas por planetas. É apenas uma questão de tempo até descobrirmos alguns, dotados de atmosfera, nos quais poderiam se desenvolver formas de vida potencialmente semelhantes às nossas.

Se um exoplaneta é cercado por uma atmosfera, a luz da estrela-mãe chega até nós depois de atravessar suas camadas superiores. Essa passagem altera levemente algumas de suas características, a partir das quais podemos obter informações essenciais. Com observações prolongadas, logo chegaremos a estabelecer não só se alguns planetas têm uma atmosfera, mas também se ela contém água, dióxido de carbono e metano. Claro que isso não será suficiente para termos certeza da existência de formas de vida talvez semelhantes às que nos são mais familiares. Mas a força dos números é impressionante.

Se levarmos em conta que em toda galáxia há algo como 200 bilhões de estrelas, é de supor que também existam enormes quantidades de planetas rochosos. Mesmo excluindo os que orbitam zonas não habitáveis, restará um enorme número deles compatíveis com a vida, isto é, capazes de hospedar água em estado líquido.

Como vimos, isso não basta para determinar condições favoráveis ao desenvolvimento das formas delicadas e complexas das estruturas biológicas. A massa do planeta tem um papel importante, e deve ser grande o suficiente para reter uma atmosfera por meio da gravidade; seria necessário também um campo magnético para protegê-lo da radiação cósmica; ajudaria muito, ainda, que ele tivesse uma órbita estável e ocupasse uma zona da galáxia distante das grandes catástrofes. Mas, acima de tudo, o mais importante é a disponibilidade de tempo, ou seja, que algumas condições de estabilidade perdurem por bilhões de anos.

Algum tempo atrás, a Kepler, uma sonda da Nasa que leva o nome do grande astrônomo alemão, anunciou a descoberta de nada menos que 1284 novos planetas extrassolares. Um grupo de astrônomos belgas trabalhando com dados do Observatório de La Silla, no Chile, identificou, por sua vez, o Trappist-1, um minissistema solar que orbita em torno de uma anã vermelha, um pequeno sol que se

encontra a meros 39,5 anos-luz de nós, na constelação de Aquário. Ele contém sete planetas rochosos, alguns de fato semelhantes à nossa Terra e, entre eles, três que se encontram na chamada faixa habitável, isto é, a uma distância da estrela-mãe que permitiria temperaturas semelhantes às que temos aqui. Havendo água, ela poderia formar lagos e oceanos, como os que temos em nosso belo planeta. Agora que sabemos para onde olhar, poderemos tentar entender melhor suas características e talvez ver se algum desses planetas possui uma atmosfera.

Com base em nossos conhecimentos, o Trappist-1 é certamente jovem demais para conter formas de vida, visto que tem apenas 400 milhões de anos, mas estamos apenas no início de uma longa série de descobertas. A contagem regressiva já começou. Em poucos anos, quando conseguirmos recolher os primeiros dados inequívocos e se dissiparem as últimas dúvidas, surgirá um duplo desafio: de um lado, absorver esse verdadeiro choque cultural; de outro, mesmo sendo enormes as distâncias, procurar — por que não? — tecnologias adequadas para entrar em contato ou mesmo alcançar os novos mundos. Mais uma vez, a ciência segue a passos de gigante e de súbito muda paradigmas que pareciam imutáveis.

Mas voltemos à nossa narrativa das origens. Ela se encerra após 13,8 bilhões de anos desde o seu início; o sétimo dia termina no exato instante em que nosso distante antepassado se levanta e começa a contar, enquanto os outros fazem uma roda, encantados, para ouvir.

O que nos torna humanos

NINGUÉM JAMAIS SABERÁ quando isso aconteceu exatamente, nem quem foi o primeiro. Não há esperança de reconstruir a linguagem que ele usou, tampouco a mensagem que queria transmitir ao pequeno grupo: talvez celebrassem um momento de euforia e alegria coletiva ou, quiçá, procurassem consolo após uma terrível desgraça.

O que sabemos com segurança é que alguém, em algum momento, começou a contar uma história. Decerto foi um indivíduo mais habilidoso do que os outros, talvez acometido por alguma patologia psíquica ou simplesmente mais irrequieto, que encadeou palavras de uma maneira surpreendente. Podemos apenas imaginar a cena: no interior de uma caverna pouco iluminada, um clã familiar de dez a quinze indivíduos sentados em torno dele ou dela, que descobre o poder de fascinar os outros, de uni-los usando um fio encantado de palavras. Um encadeamento de expressões usadas num contexto novo, libertadas de sua função utilitária, que se alça no ar para se tornar canto, poesia, saber coletivo. Palavras rituais que adquirem profundo valor simbólico e encantam a todos.

A construção do simbólico

Achados e descobertas, que há décadas ocorrem seguidamente, atribuem aos neandertais as primeiras manifestações de um universo simbólico. Estamos falando de uma espécie cuja presença na Europa é atestada centenas de milhares de anos antes que os *Homo sapiens* aqui chegassem, cerca de 40 mil anos atrás.

Ambos derivariam de um antepassado comum, o *Homo heidelbergensis*, evoluído na África a partir do *Homo erectus* mais de 1 milhão de anos atrás. Depois de ter colonizado o continente, essa espécie se difundiria na Europa e talvez na Ásia, durante um período interglacial, por volta de 600 mil anos atrás. Dos *Homo heidelbergensis* que ficaram na África diferenciaram-se os *Homo sapiens*; dos que colonizaram a Europa derivarão os neandertais. As duas espécies, evoluindo em ambientes e contextos completamente distintos, desenvolvem características diferentes, mas, do ponto de vista genético, permanecem muito próximas; estamos falando de parentes próximos, se não de irmãos propriamente ditos, com certeza de primos.

As características físicas dos neandertais contribuíram para criar um preconceito em relação a eles. Mais pesados e robustos que os longilíneos *Homo sapiens*, eles sempre pareceram mais primitivos e menos desenvolvidos. Na verdade, essas características físicas são o resultado de uma extraordinária adaptação a um ambiente muito difícil.

A Europa em que os neandertais vivem por centenas de milhares de anos tem um clima difícil; alterna breves períodos de calor e prolongadas eras glaciais que submeterão a duras provas a capacidade de sobrevivência das espécies que lá habitam. É a falta de luz solar que fará com que se desenvolva nos neandertais uma mutação genética que os levará a ter a pele branca, muito mais clara que a dos seus antepassados e também que a nossa, os *Homo sapiens*, quando cruzarmos com eles pela primeira vez, ao chegarmos da África. Muitos

têm cabelos castanhos, loiros ou ruivos e olhos claros; todos têm um físico poderoso, ossos robustos e músculos desenvolvidos, instrumentos decisivos para resistir ao clima rigoroso e para sobreviver num território hostil. Sua capacidade craniana é superior à dos *Homo sapiens*, isto é, eles têm um cérebro maior que o nosso; mas a cabeça tem formato oval, semelhante à de uma bola de rúgbi; a testa é baixa e saliente, com um osso occipital proeminente; eles têm nariz grande, sobrancelhas quase unidas e um acentuado prognatismo facial.

Em suma, o aspecto dos neandertais contrasta com os cânones de beleza que nós *Homo sapiens* construímos à nossa imagem e semelhança. Mas, se hoje encontrássemos um neandertal no metrô, usando paletó e gravata, ele não nos espantaria tanto. Entre as incontáveis variantes individuais da população humana, encontram-se características muito semelhantes às da antiga espécie. Todavia, parece que justo esses nossos primos, de aparência tão grosseira, foram capazes de desenvolver um dos instrumentos mais poderosos para a sobrevivência: um universo simbólico.

Os neandertais são atletas poderosos e seguem uma alimentação hiperproteica, a única que permite sobreviver nos climas gelados da Europa glacial. Para se abrigar e se proteger, usam peles de animais que sabem esfolar com grande habilidade; têm mãos poderosas, com as quais fabricam utensílios de pedra ou madeira muito sofisticados. São habilidosos em transformar o sílex em instrumentos pontudos e afiados, segundo uma técnica de corte que será chamada de musteriana e que difundirá em toda a Europa os produtos de sua extraordinária tecnologia: pontas, discos, lâminas, raspadores e os belos bifaces ou machados de mão talhados nos dois lados. Muitos desses instrumentos, em forma de lâmina ou ponta, serão fixados com betume em utensílios de madeira, como longas lanças, para torná-los mais letais.

Os neandertais são onívoros, mas metade da sua dieta é constituída por carne; quando encontram grandes carcaças, são necrófilos oportunistas, mas são sobretudo caçadores muito hábeis. Usam lanças com pontas endurecidas no fogo e zagaia com mais de dois metros de

comprimento; com essas armas caçam animais de grande porte, inclusive ursos e elefantes.

Para organizar grandes caçadas, é necessário ter um projeto, um plano compartilhado com outros caçadores com formas sofisticadas de comunicação e hierarquias bem definidas. É preciso ter grupos que emitam gritos e sons para reunir a caça num ponto preestabelecido ou para conduzi-la à armadilha onde os caçadores mais robustos e corajosos podem atacar ou dar o golpe de misericórdia sem correr grande risco. É provável que todo o clã participasse da caçada, que era uma atividade cheia de perigos. Era frequente que integrantes do grupo saíssem terrivelmente feridos, fatos constatados nas inúmeras fraturas encontradas em seus ossos. Os grupos tratavam e cuidavam dos feridos, como demonstram indivíduos com traumas evidentes que conseguiram atingir idades muito avançadas para a época — o que não teria sido possível sem a ajuda dos integrantes mais jovens do grupo e o amparo de toda a comunidade.

Com uma organização social tão articulada, não admira que os neandertais tivessem uma vida cultural complexa. As descobertas nos revelam fatos surpreendentes a esse respeito: há indícios de que sepultavam os mortos em posição fetal e os tingiam de vermelho; e foram encontrados ornamentos pintados com ocre, plumas, colares feitos com dentes de cervo ou artelhos de águia.

A utilização da ocre é especialmente significativa, porque o vermelho é a cor do sangue, e no sangue se nasce e se morre. Se os cadáveres são sepultados em posição fetal e têm os corpos tingidos de vermelho, talvez se imagine que a morte é um novo nascimento. Uma sociedade formada por pequenos grupos e sempre pressionada pelas exigências da sobrevivência dedica tempo e energia preciosos cuidando do corpo dos defuntos e organizando rituais fúnebres. Evidentemente essa civilização confere ao seu universo simbólico grande importância, quase maior do que ao alimento, a ponto de considerar essencial aquele conjunto de ritos e cerimônias que nutrem e dão substância a sua visão de mundo.

Outras descobertas pareceriam reforçar essa hipótese. Numa gruta profunda, foram encontrados, a centenas de metros da entrada,

grandes círculos feitos com pedaços de estalactites. Quem levou esses grupos a percorrer distâncias tão longas, no escuro dos meandros que penetram nas entranhas da terra? Por que o trabalho de quebrar e transportar para um local específico pedras que pesavam dezenas de quilos? E por que gastar energia para organizá-las em círculos? É evidente que eles dão importância a essas atividades; as estruturas circulares têm uma função ritual que talvez nunca venhamos a conhecer, mas que é considerada tão fundamental que lhe dedicavam tempo e trabalho. Pode-se imaginar algo similar para objetos de dimensões menores, mas de função igualmente intrigante: ossos lascados com sinais geométricos, uma pequena flauta de osso, machadinhos entalhados em cristal de rocha ou outras pedras preciosas, nunca utilizados para finalidades práticas e quem sabe ligados a cerimônias rituais perdidas para sempre.

As dúvidas sobre o universo simbólico dos neandertais se desfizeram quando foi possível datar com precisão pinturas rupestres descobertas na Espanha. Uma dúzia de exemplares encontrados no interior de três grutas remonta a mais de 65 mil anos, 20 mil anos antes da chegada dos *Homo sapiens* ao continente europeu. Para coroar a surpresa, os pesquisadores encontraram na Cueva de los Aviones, uma caverna no sudeste do país, conchas marinhas perfuradas e decoradas, algumas contendo traços de pigmentos vermelhos, amarelos e negros que datam de pelo menos 115 mil anos atrás. Eram, talvez, os utensílios empregados para preparar as tintas usadas nas pinturas das paredes, representando grupos de animais, pontos, figuras geométricas e a impressão das mãos, em ocre e preto.

Não sabemos exatamente o que os sinais, as pinturas e os desenhos nas paredes representavam para eles. Há símbolos, uma escada, animais e cenas de caça. São traçados com destreza e mão segura. Diante das pinturas rupestres de nossos ancestrais distantes, há uma tendência a interpretá-las em um tom naturalista. Mesmo os maravilhosos exemplos produzidos pelos *Homo sapiens* dezenas de milhares de anos mais tarde; estou pensando aqui nas grutas de Altamira ou de Lascaux, que remontam a cerca de 18 mil anos. Essas pinturas representam longas séries de animais, alguns homens e cenas

de caça. Mas será que realmente achamos que valia a pena descer em cavernas escuras, iluminá-las na penumbra de tochas ou fogueiras, procurar os pigmentos e misturá-los com habilidade e praticar durante anos para pintar cenas da vida cotidiana?

Por trás de cada mão que pinta uma daquelas grutas há uma escola, feita de grande disciplina e rígida seleção. Só os mais dotados podiam gozar do privilégio de ficarem isentos, pelo menos em parte, do árduo trabalho de sobrevivência para se dedicar a essas atividades. É de supor a presença, entre os *Homo sapiens*, e ainda antes entre os neandertais, de grandes mestres ou mestras que transmitiam as técnicas, escolhendo os discípulos mais destacados, aqueles a quem confiariam o testemunho de conhecimentos técnicos tão preciosos. Afirmar que a função das pinturas era explicar as técnicas de caça aos jovens seria como acreditar que o dedo indicador do Deus criador tocando o de Adão, na Capela Sistina, é uma típica saudação hebraica. Por trás do detalhe daqueles afrescos há um universo simbólico, pilar de toda uma sociedade que se quer celebrar e transmitir.

Nunca descobriremos o significado que os neandertais atribuíam às suas representações, mas sabemos que essas obras, aos seus olhos, possuíam um valor imenso; os ritos e as cerimônias que ocorriam naquelas cavernas eram considerados de importância vital para manter a sociedade unida. O preconceito de que os *Homo sapiens* suplantaram os neandertais por possuírem uma linguagem mais rica, uma estrutura social mais articulada, um universo simbólico mais desenvolvido, revelou-se totalmente equivocado.

O surgimento do pensamento simbólico assinala uma das etapas fundamentais da evolução humana. Hoje sabemos que as capacidades cognitivas mais sofisticadas presentes nesse desenvolvimento não são uma prerrogativa dos *Homo sapiens*, mas têm origens muito mais antigas e também eram compartilhadas pelos neandertais. Para estabelecer sua gênese, talvez seja preciso recuar ainda mais no tempo, concentrando as pesquisas nos primeiros neandertais, ou até remontar ao antepassado comum do qual se originaram as duas espécies.

O certo é que a construção da grande narrativa das origens, tão

estritamente ligada ao processo que fez com que nos tornássemos humanos, lança suas raízes na noite dos tempos.

No princípio era o Thaumata

No *Teeteto*, Platão põe na boca de Sócrates: “O *thaumazein* é a verdadeira característica do filósofo. Não tem outra origem a filosofia”. Aristóteles, na célebre passagem que abre o primeiro livro da *Metafísica*, escreve: “Os homens começaram a filosofar por causa do *thaumazein*”. O termo, que contém a raiz *thauma*, a mesma que aparece em taumaturgo, foi frequentemente traduzido por “espanto”. A filosofia nasceria do assombro, mesclado à curiosidade, perante algo inexplicável, que nos fascina e atormenta. Aristóteles escreve explicitamente que os homens, partindo das perguntas mais simples, vieram a se interrogar sobre fenômenos cada vez mais complexos, vindo a levantar questões sobre a Lua, o Sol e os outros astros e a perguntar a partir do que foi gerado todo o universo.

O sentimento de assombro perante um céu estrelado é, ainda hoje, uma emoção intensa na qual se ouvem os ecos do antigo espanto que marcou os milhares de gerações que nos precederam. Mas talvez esse sentimento não baste para entender de onde nasce essa premência profunda, primordial, quase inata, de procurar uma resposta para as grandes perguntas.

O tema foi retomado por Emanuele Severino, que frisa a necessidade de traduzir *thauma* por “espanto misturado com angústia”. Assim se recuperaria o significado original da palavra, e o conhecimento agiria como um “antídoto ao pavor causado pelo evento aniquilador que surge do nada”.

De fato, o termo também é usado em Homero, que fala de *thauma* ao descrever Polifemo, o monstro de um olho só que desmembra e devora os desafortunados companheiros de Ulisses. Neste caso, é mais evidente o vínculo com a angústia inerente à palavra. A visão do mítico ciclope, monstro gigantesco, desperta ao mesmo tempo espanto e pavor. O gigante, símbolo da força selvagem da natureza, causa assombro com sua potência surpreendente e, ao mesmo tempo, angústia pela sensação de insignificância e decrepitude que gera em

nós. As forças desencadeadas pela natureza, um vulcão em erupção, um terrível furacão, nos fascinam e assustam porque podem nos desmembrar e nos engolir num instante. Nessa grandiosa representação, o papel desempenhado por nós, pequenos seres frágeis, expostos o tempo todo ao sofrimento e à morte, é completamente insignificante.

E assim a narrativa, a explicação, seja ela mítica ou religiosa, filosófica ou científica, ao expor a espanto, nos conforta e tranquiliza; instaura ordem na sequência incontrolável dos eventos e, com isso, nos protege da angústia e do pavor. Essa narrativa, em que todos têm um papel e cada um desempenha sua parte, atribui um sentido ao ciclo grandioso da existência. Nos tranquilizamos porque nos sentimos protegidos, e nosso medo de morrer se atenua. Permanecemos cientes de que, para nós, tudo se acabará, e cedo demais em comparação aos grandes ciclos temporais de evolução das estruturas materiais que nos rodeiam, mas nos sentimos tranquilizados por saber que o conjunto obedece à ordem da narrativa.

Durante milhões de anos, a humanidade teve de aceitar cotidianamente a dureza da existência. Essa experiência de extrema fragilidade e total precariedade se atenuou faz algumas décadas, e apenas para uma parte da população do mundo. Mas nas profundezas da nossa alma ainda sentimos essa angústia ancestral. Somos todos como Leo, o menino de *Melancolia*, que procura proteção e consolo diante da catástrofe inelutável que está para atingir a Terra. Ele precisa de alguém que lhe diga: não tenha medo, não vai acontecer nada com você. E encontrará essa pessoa na tia Justine, mulher sofrida que vivia dominada por uma grande depressão, mas que no momento do perigo, enquanto os saudáveis e normais perdem a cabeça, age com extrema lucidez e encontra forças para conservar sua humanidade. A pequena barraca em que se refugia com o sobrinho não os protegerá da catástrofe, mas o menino, nos braços acolhedores da tia, ouvindo sua serena narrativa, se sentirá em segurança até o último instante antes da colisão.

Arte, beleza, filosofia, religião, ciência, numa palavra a cultura, são a nossa barraca mágica, e precisamos desesperadamente dela desde

tempos imemoriais. Com toda probabilidade elas nasceram juntas, como diferentes formas de articular o pensamento simbólico. Não é difícil imaginar os ritmos e assonâncias nas palavras que facilitaram a transmissão mnemônica da narrativa das origens, com ela nascendo também o canto e a poesia; e que o mesmo se deu com os sinais e símbolos representados nas paredes, com uma perfeição formal cada vez mais sofisticada; ou que, nos ritos e cerimônias que acompanhavam os momentos de festa ou de luto, sons regulares podiam acompanhar movimentos rítmicos do corpo ou o canto entoado pelo sábio ou xamã. A ciência faz parte dessa narrativa, e não por acaso é ao mesmo tempo *episteme* e *techne*, conhecimento e capacidade de produzir utensílios, objetos, máquinas.

Não é por acaso que a *techne*, raiz da técnica, designa em grego a atividade ao mesmo tempo artesanal e artística, e é assim que, ao se fabricarem sílex bifacetados, a necessidade técnica de contar com um instrumento cortante e manuseável se entretece com a exigência estética de produzi-lo como objeto simétrico, fino, perfeitamente equilibrado, em suma, belo como um objeto de arte.

Essas exigências parecem constituir algo inevitável para todos os grupos humanos que há milênios pisam o solo da Terra. Mesmo a mais remota tribo isolada, vez por outra descoberta numa floresta de Bornéu ou da Amazônia, desenvolveu ritos próprios, formas peculiares de expressão artística e um universo simbólico todo seu, inteiramente construído em torno de uma grande narrativa das origens. Sem ele, não só é impossível construir as grandes civilizações como tampouco a mais elementar das estruturas sociais é capaz de sobreviver. Nisso consiste a razão pela qual todos os grupos humanos em nosso planeta são caracterizados por fortes traços culturais.

Poder da imaginação

A cultura, a consciência de si e das próprias raízes mais profundas é uma espécie de superpoder que garante maiores chances de sobrevivência mesmo nas condições mais extremas. Imaginemos por um instante dois grupos sociais primitivos, pequenos clãs de neandertais que vivem isolados um do outro na gélida Europa daquele período; e suponhamos que, por acaso, um dos dois grupos tenha uma visão própria do mundo, cultivada e transmitida com rituais e cerimônias ao longo das gerações e talvez representada nas cavernas onde habitava, e o outro grupo não, tendo evoluído sem desenvolver nenhuma forma sofisticada de cultura. Agora suponhamos que uma terrível tragédia se abata sobre os dois grupos: uma inundação, um período de grande frio ou um ataque de animais ferozes que extermina todos os membros do clã, exceto um. O único sobrevivente de cada grupo terá de superar mil perigos, enfrentar todas as formas de privação, ir para outras zonas e, talvez, sobreviver aos ataques de grupos humanos hostis. Qual dos dois mostrará mais resiliência? Quem terá mais possibilidade de sobreviver?

A grande narrativa das origens dá forças para o indivíduo se reerguer quando está combalido, fornece motivações para suportar o desespero mais sombrio. Agarrando-se ao manto que protege e confere uma identidade, ele encontra forças para resistir. Situar a si mesmo e o próprio clã numa longa cadeia de eventos que lança raízes num passado distante permite imaginar um futuro. Quem tem essa consciência pode enquadrar os terríveis sacrifícios do presente num contexto mais amplo e, dando um sentido aos sofrimentos, é capaz de superar as tragédias mais terríveis.

É por isso que ainda estamos aqui, a milhares de gerações de distância, dando valor à arte, à filosofia, à ciência. Pois somos os herdeiros dessa seleção natural. Os indivíduos e os grupos mais capazes de desenvolver um universo simbólico gozaram de uma grande vantagem evolutiva, e foi deles que descendemos.

O poder do simbólico e a força da imaginação não devem nos causar surpresa. Sermos animais sociais é algo mais profundo e diferencial do que o simples fato de vivermos em grupos organizados de indivíduos.

Nos últimos anos, surgiram projetos científicos bastante ambiciosos para estudar o funcionamento do cérebro humano. São iniciativas multidisciplinares, financiadas com grandes recursos, nas quais trabalham milhares de cientistas. Em muitos casos, para entender detalhadamente alguns dos mecanismos básicos, são produzidas redes de simuladores eletrônicos de neurônios e de suas interações. Tudo isso é muito útil para compreender algumas dinâmicas de funcionamento, mas por que esses mesmos cientistas nos dizem que não faz sentido expandir essas estruturas elementares para tentar produzir um cérebro artificial?

Não é apenas uma questão de superar grandes dificuldades técnicas; nossa caixa craniana abriga quase 90 bilhões de neurônios, cada qual capaz de estabelecer até 10 mil sinapses com seus vizinhos. A questão é mais de fundo. Mesmo que se conseguisse construir um mecanismo eletrônico tão complexo que reproduzisse exatamente a estrutura do nosso cérebro, não seria um cérebro humano. Faltaria ainda um ingrediente essencial, muito mais complicado de reproduzir de forma artificial: a interação com outros cérebros humanos, mediada pela linguagem, pelo corpo e pelas relações emocionais. Em outras palavras, nos tornamos humanos para os outros por meio do olhar e da troca de emoções, interagindo com os outros humanos que se relacionam conosco no grupo social.

O cérebro maleável do recém-nascido adquire forma na relação com o mundo mediada pelos adultos que cuidam dele, a partir do olhar da mãe. A criança, olhando nos olhos de quem a nutre, modifica suas sinapses com base nas reações que se produzem nessa relação. Isso que chamamos de cérebro humano nasce da interação entre esse sistema maleável, capaz de se adaptar e se conformar aos estímulos que vêm do exterior, e um conjunto de relações que se instauram com o restante do grupo social. É uma relação que se alimenta de desejos e esperanças e começa ainda antes que o embrião se implante no corpo da mãe. Dialoga com os sonhos dos pais, que precedem o nascimento,

e se confronta com o passado e os humanos que vieram antes dele. Projeta-se para o futuro por meio das fantasmagorias que o pequeno grupo social constrói em torno do recém-nascido: avós ou pais e entes queridos veem semelhanças e se reconectam a antigas histórias, nas quais voltam a aflorar velhos receios e novas expectativas. Nenhum aparato eletrônico é capaz de reproduzir tudo isso.

Prova disso são as experiências de crianças abandonadas, desde o nascimento, em locais selvagens e criadas por grupos de animais. Elas possuem um cérebro igual na estrutura, mas que não pôde se tornar humano devido à falta desses relacionamentos. Nenhum cuidado posterior conseguirá preencher totalmente a lacuna gerada em sua formação.

A imaginação e a narrativa, quando cultivadas dentro do grupo, tornam-se poderosos instrumentos de sobrevivência. Quem ouve e imagina as experiências alheias consegue vivê-las pelo acúmulo de conhecimento. A narrativa condensa os ensinamentos reunidos por uma longa sequência de gerações que nos antecederam, possibilita entender e ter experiência, permite viver mil vidas. Imaginando, experimentamos emoções e medos, sofrimentos e perigos, e os valores do grupo, as regras que o preservam e sustentam seu desenvolvimento, são reafirmados e memorizados ao longo das gerações.

A imaginação, desenvolvida e incentivada nos grupos sociais culturalmente mais avançados, é a arma mais poderosa que a humanidade já foi capaz de desenvolver. Da imaginação nasceu também a ciência, que, tendo escolhido fundamentar suas narrativas em verificações experimentais, precisou desenvolver técnicas e visões cada vez mais audaciosas. Para explorar os cantos mais recônditos da matéria e do universo, a ciência precisou superar todos os limites e converteu a narrativa das origens numa viagem extraordinária.

Seguindo esse caminho, teve de mudar os paradigmas do modo de pensar da humanidade. Fez isso muitas vezes na história, de Anaximandro a Heisenberg e Einstein, e ainda continua a fazê-lo. A ciência avança sem cessar e muda a forma de ver e narrar o mundo. A cada vez que isso acontece, tudo muda. Não só por causa dos

instrumentos e tecnologias daí decorrentes, mas sobretudo porque, mudando os paradigmas, todas as nossas relações são alteradas. Quando se olha o mundo com olhos diferentes, a cultura, a arte, a filosofia mudam. Conhecer e antecipar essas mudanças significa dispor dos instrumentos para construir uma comunidade humana melhor.

Por isso a arte, a ciência e a filosofia continuam a ser disciplinas fundamentais, que dão consistência ao fato de sermos humanos. Essa visão única do mundo, que nasce do nosso passado mais remoto, é ainda hoje o instrumento mais adequado para enfrentar os desafios do futuro.

Epílogo

O massacre de Nossa Senhora da Assunção

MÓDICA, 21 DE FEVEREIRO DE 2018. O Val di Noto é repleto de preciosidades, mas quando se chega a Módica, especialmente à noite, fica-se encantado: uma cidade dividida ao meio pelo pico de Pizzo, dominado pelo Castello dei Conti; as casas amontoadas umas nas outras, cobrindo as encostas montanhosas onde ainda se abrem antigas grutas, e as várias igrejas barrocas com imponentes escadarias. Módica é uma inesperada maravilha.

Estou aqui para falar sobre a origem do universo num colóquio que acontecerá amanhã, dedicado a Tommaso Campailla, filósofo, médico e cientista. Sua cidade natal, onde ele veio ao mundo em 1668, decidiu homenageá-lo nos 350 anos de seu nascimento, e a iniciativa adotou o título de sua obra mais importante: *Adão, ou o mundo criado*. Campailla, fino cultor de Descartes, que mantinha correspondência com os grandes nomes da época, a ponto de George Berkeley ter ido visitá-lo em Módica, escreveu esse poema filosófico em versos como compêndio da criação. Amanhã, a partir dele, falaremos da Bíblia e do Gênesis, da criação e da ciência; foram convidados, além de mim, o rabino-mor de Veneza, Shalom Bahbout, e o teólogo e padre jesuíta Cesare Geroldi.

Hoje estamos jantando juntos, num ótimo restaurante administrado por uma família de origem judaica, e o cardápio é estritamente kasher. À mesa, estão conosco os representantes da pequena comunidade judaica local, que estão angariando fundos para reabrir a sinagoga. Durante o jantar, alguém relembra o massacre de Nossa Senhora da Assunção, um episódio distante da história de Módica que marcou profundamente a vida da antiga comunidade.

Estamos em 1474 e há séculos vive na cidade uma considerável comunidade judaica, quase toda no bairro de Giudecca. Para o sermão do dia de Nossa Senhora da Assunção, vem de Ragusa um dominicano famoso, frei Giovanni de Pistoia, orador impetuoso, que celebrará a

missa na igreja de Santa Maria di Betlem. Há tempos vigora o costume de se fazer sermões conversionistas, sendo os judeus obrigados a assistir ao ofício com a intenção de levá-los à conversão. Isso já ocorreu muitas outras vezes, e nunca houve problemas, mas nesse domingo alguma coisa dá errado. Explode um tumulto, ocorrem incidentes gravíssimos, há mortos. Uma turba armada de chuços, facas e ferramentas de trabalho ataca os judeus e recobre o adro de sangue. Aos gritos de “Viva, Maria! Morte aos judeus!” são degolados homens, mulheres e crianças, e depois a multidão se dirige para Giudecca, onde as casas são tomadas de assalto. Os mortos se contam às centenas, todas as habitações são saqueadas e a sinagoga é incendiada; a perseguição aos judeus se prolonga por dias. Os poucos sobreviventes do terrível pogrom se escondem nas grutas ou fogem para outras cidades em busca de proteção. Desde então, deixa de existir em Móдика um local de culto para os judeus, e os descendentes daquela pequena comunidade, após enfrentarem inúmeros percalços, inclusive leis raciais e deportações, desejam reconstruir a sinagoga.

No dia seguinte, no colóquio, narro o nascimento do universo como é descrito pela ciência. Depois a palavra passa para o padre Cesare Geroldi, jesuíta e teólogo de Crema que viveu por muitos anos em Jerusalém e se incumbiu de uma nova tradução do livro do Gênesis. O padre Geroldi tem um físico robusto, é um grande narrador, fascinante e carismático.

Ele começa sua apresentação de modo incisivo: “O professor Tonelli lhes narrou o nascimento do universo. O que ele expôs aqui é a descrição mais precisa do que aconteceu 13,8 bilhões de anos atrás, um passado distante. Quanto a mim, falarei sobre o Gênesis. Um livro que fala do futuro”. E explica que, para entender o livro do Gênesis, precisamos partir da época e do contexto em que ele foi escrito.

Agora já não restam muitas dúvidas de que são dois livros, escritos em épocas e por mãos diversas e integrados no primeiro livro da Torá. O estudioso cita as várias contradições entre as duas versões; ressalta as variações de linguagem e de estilo e as duas narrativas distintas dos mesmos eventos, com diferenças não só na sequência dos fatos — plantas e animais criados antes ou depois do homem — mas até

mesmo na denominação do principal protagonista: o Elohim do primeiro Gênesis se torna o impronunciável YHWH do segundo.

Mas o mais importante vem a seguir, quando ele fala sobre o contexto em que foi escrito o mais sagrado dos livros. Estamos na Babilônia, no século VI a.C. Nabucodonosor II, depois de conquistar Jerusalém e destruir o Templo, deportou a elite religiosa, social e intelectual do povo hebraico. É a mais terrível calamidade, e para a antiga religião de Abraão e Moisés parece ter soado a última hora. Os integrantes mais orgulhosos do povo eleito, humilhados e arrancados das suas terras, agora enfrentam o desmedido poderio do vencedor, que não é só material e militar. Nabucodonosor, rei do universo, representa uma civilização sem igual na época. A Babilônia é a maior cidade do mundo e resplende de maravilhas; seus eruditos se destacam em todas as disciplinas e reúnem em milhares de tábuas e papiros o saber transmitido ao longo dos milênios.

Postos diante da civilização da palavra escrita, desenvolvida pelos assírios e babilônicos, os sábios hebreus decidem compilar pela primeira vez num texto escrito a narrativa das origens do povo hebraico. No auge do mais terrível desespero, agarram-se ao texto que encerra sua identidade, suas raízes mais profundas. Confiam ao livro sagrado a esperança de vencer a sucessão de desgraças que se abateu sobre eles: narrando a origem do mundo, procuram o seu futuro, sonham voltar a Jerusalém e reconstruir o Templo e sua gloriosa civilização.

Será a mesma reação adotada durante milênios por gerações de famílias judaicas obrigadas a duríssimas provações. Agarrando-se à Bíblia, elas conseguirão superar as mais terríveis perseguições. O mesmo se dará com os pequenos grupos de judeus de Módica que sobreviveram ao massacre de Nossa Senhora da Assunção.

Daí nasce a ideia de escrever este livro e lhe dar o título de *Gênesis*, para permitir que todos adotemos a grande narrativa das origens que a ciência moderna nos oferece, entendamos nossas raízes mais profundas e nelas encontremos inspirações para enfrentar o futuro.

Agradecimentos

Agradeço a todos que, com debates e discussões, deram-me inspirações para este livro: Sergio Marchionne, padre Cesare Geroldi, rabino Shalom Bahbout, Remo Bodei, monsenhor Gianantonio Borgonovo, Vito Mancuso, Pippo Lo Manto, Piero Boitani, Sonia Bergamasco e Lucia Tongiorgi.

Agradeço em particular a Alessia Dimitri, cuja determinação foi fundamental para que se iniciasse essa nova aventura.

Por fim, meu especial agradecimento a Luciana, não só pela paciência com que enfrentou o período de sobrecarga de trabalho acarretado pela escrita do livro, como também pelas incontáveis sugestões, pelas várias discussões sobre arte e filosofia e pela meticulosa leitura do manuscrito que permitiram aprofundar e melhorar muitas partes do texto.



ADOLFO FREDIANI

GUIDO TONELLI é professor da Universidade de Pisa, na Itália, e cientista visitante do Cern (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), em Genebra, na Suíça. Um dos responsáveis pela descoberta do bóson de Higgs — que revolucionou o modo como entendemos o universo —, recebeu diversas distinções por suas contribuições à física, entre elas o Fundamental Physics Prize, prêmio de maior valor no mundo acadêmico.

Copyright © Giangiacomo Feltrinelli Editore, Milano

Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.

Título original: Genesi

Capa e imagem de capa: Rafael Nobre

Preparação: Diogo Henriques

Revisão: Márcia Moura e Marise Leal

Versão digital: Rafael Alt

ISBN 978-65-5782-118-3

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA SCHWARCZ S.A.

Praça Floriano, 19, sala 3001 — Cinelândia

20031-050 — Rio de Janeiro — RJ

Telefone: (21) 3993-7510

www.companhiadasletras.com.br

www.zahar.com.br

facebook.com/editorazahar

instagram.com/editorazahar

twitter.com/editorazahar

IAN STEWART

DESVENDANDO O
COSMO

COMO A MATEMÁTICA NOS AJUDA
A COMPREENDER O UNIVERSO



Desvendando o cosmo

Stewart, Ian

9788554517069

408 páginas

[Compre agora e leia](#)

Um dos matemáticos mais populares da atualidade explora as origens, a história e o futuro do Universo.

Da formação da Terra e da Lua à origem dos planetas e asteroides do nosso sistema solar, do começo dos tempos até o fim do Universo, Ian Stewart nos leva a uma viagem fantástica pelo cosmo, mostrando de que forma a matemática tem nos ajudado a compreendê-lo — e como ela está no cerne dos avanços da astronomia.

Com clareza e sem a complexidade das equações, Stewart descreve, por exemplo, de que forma o trabalho de Kepler sobre as órbitas dos planetas levou Newton a formular a teoria da gravidade; e como dois séculos depois minúsculas irregularidades no movimento de Marte induziram Einstein a conceber a teoria da relatividade geral.

A revelação de que o Universo está se expandindo originou a teoria do Big Bang. Esta, por sua vez, fez com que astrônomos chegassem a elementos como a inflação — um Big Bang ainda maior — e a energia escura para dar sentido ao cosmo. Mas no campo científico novas conquistas produzem novos mistérios. Estaremos diante de mais uma revolução que vai transformar nosso entendimento do espaço sideral? Essa é uma das questões que Ian Stewart levanta em sua investigação através dos domínios da astronomia e da cosmologia — nos alertando que, apesar de estarmos na direção certa, a resposta final ainda não está à vista.

"Ian Stewart cobre a longa história de nosso amado cosmo usando lentes matemáticas, e somos gratos por tê-lo como guia nessa jornada."
— Marco Moriconi, *The New York Times*

"Uma jornada fascinante, contínua e historicamente contextualizada."
— *Nature*

"Um livro que vai agradar amantes da matemática e da história e entusiastas das ciências, ao cobrir diversas eras, inovações e

disciplinas." — *Publishers Weekly*

"Ian Stewart mostra que é um polímata, não somente por ser um mestre em todos os campos da matemática, mas também pela sua compreensão da física, astronomia e cosmologia." — *Kirkus Reviews*

[Compre agora e leia](#)

BEST-SELLER DO NEW YORK TIMES

STEVEN LEVITSKY & DANIEL ZIBLATT

COMO AS DEMOCRACIAS MORREM

"Um livro perspicaz e muito bem fundamentado sobre
como a democracia está sendo enfraquecida em
dezenas de países - e de modo perfeitamente legal."

Fareed Zakaria, CNN



Como as democracias morrem

Levitsky, Steven

9788537818053

272 páginas

[Compre agora e leia](#)

Uma análise crua e perturbadora do fim das democracias em todo o mundo

Democracias tradicionais entram em colapso? Essa é a questão que Steven Levitsky e Daniel Ziblatt – dois conceituados professores de Harvard – respondem ao discutir o modo como a eleição de Donald Trump se tornou possível.

Para isso comparam o caso de Trump com exemplos históricos de rompimento da democracia nos últimos cem anos: da ascensão de Hitler e Mussolini nos anos 1930 à atual onda populista de extrema-direita na Europa, passando pelas ditaduras militares da América Latina dos anos 1970. E alertam: a democracia atualmente não termina com uma ruptura violenta nos moldes de uma revolução ou de um golpe militar; agora, a escalada do autoritarismo se dá com o enfraquecimento lento e constante de instituições críticas – como o judiciário e a imprensa – e a erosão gradual de normas políticas de longa data.

Sucesso de público e de crítica nos Estados Unidos e na Europa, esta é uma obra fundamental para o momento conturbado que vivemos no Brasil e em boa parte do mundo e um guia indispensável para manter e recuperar democracias ameaçadas.

"Talvez o livro mais valioso para a compreensão do fenômeno do ressurgimento do autoritarismo ... Essencial para entender a política atual, e alerta os brasileiros sobre os perigos para a nossa democracia." Estadão

"Abrangente, esclarecedor e assustadoramente oportuno." The New

York Times Book Review

"Livração ... A melhor análise até agora sobre o risco que a eleição de Donald Trump representa para a democracia norte-americana ... [Para o leitor brasileiro] a história parece muito mais familiar do que seria desejável." Celso Rocha de Barros, Folha de S. Paulo

"Levitsky e Ziblatt mostram como as democracias podem entrar em colapso em qualquer lugar – não apenas por meio de golpes violentos, mas, de modo mais comum (e insidioso), através de um deslizamento gradual para o autoritarismo. Um guia lúcido e essencial." The New York Times

"O grande livro político de 2018 até agora." The Philadelphia Inquirer

[Compre agora e leia](#)

Leonard MLODINOW

O ANDAR

do

BÊBADO

Best-seller
e livro notável do
New York Times

Como o acaso determina nossas vidas

"Um guia maravilhoso e acessível sobre
como o aleatório afeta nossas vidas." *Stephen Hawking*

 ZAHAR

O andar do bêbado

Mlodinow, Leonard

9788537801819

322 páginas

[Compre agora e leia](#)

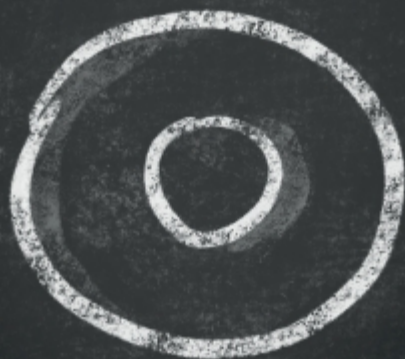
Best-seller internacional e livro notável do New York Times Um dos 10 Melhores Livros de Ciência, segundo a Amazon.com Não estamos preparados para lidar com o aleatório e, por isso, não percebemos o quanto o acaso interfere em nossas vidas. Num tom irreverente, citando exemplos e pesquisas presentes em todos os âmbitos da vida, do mercado financeiro aos esportes, de Hollywood à medicina, Leonard Mlodinow apresenta de forma divertida e curiosa as ferramentas necessárias para identificar os indícios do acaso. Como resultado, nos ajuda a fazer escolhas mais acertadas e a conviver melhor com fatores que não podemos controlar. Prepare-se para colocar em xeque algumas certezas sobre o funcionamento do mundo e para perceber que muitas coisas são tão previsíveis quanto o próximo passo de um bêbado depois de uma noite... "Um guia maravilhoso e acessível sobre como o aleatório afeta nossas vidas" Stephen Hawking "Mlodinow escreve num estilo leve, intercalando desafios probabilísticos com perfis de cientistas... O resultado é um curso intensivo, de leitura agradável, sobre aleatoriedade e estatística." George Johnson, New York Times

[Compre agora e leia](#)

"Brilhante e revolucionário, acessível a qualquer pessoa.
Um livro que vai mudar o mundo." The Guardian

ECONOMIA DONUT

Uma alternativa ao crescimento
a qualquer custo



 ZAHAR

KATE RAWORTH

Economia Donut

Raworth, Kate

9788537818374

368 páginas

[Compre agora e leia](#)

Simples, ambicioso e revolucionário, um modelo econômico original e ousado para responder aos desafios do século XXI Crise financeira permanente. Desigualdade extrema na distribuição da riqueza. Pressão implacável sobre o meio ambiente. O sistema econômico que rege nossas vidas está falido. Existe alguma alternativa viável? Para a economista Kate Raworth, a resposta é uma drástica mudança de paradigma, a Economia Donut. Analisando os sete pontos críticos com que a economia dominante nos trouxe à ruína – do propagandeado mito do "homem econômico racional" à obsessão pelo crescimento ilimitado a qualquer custo –, ela propõe um sistema no qual as necessidades de todos serão satisfeitas sem esgotar os recursos do planeta. Para ilustrar esse ponto de equilíbrio, a autora desenhou o icônico gráfico similar a um "donut" – a clássica rosquinha. Vencedor do Prêmio Transmission, dado a obras inspiradoras comunicadas de forma inteligente, este livro fornece, em linguagem clara, as coordenadas para guiar as políticas governamentais, o desenvolvimento global e as estratégias corporativas – além de estabelecer padrões atualizados para o que de fato significa sucesso econômico. *** "Kate Raworth é o John Maynard Keynes do século XXI: ao reformular a economia, ela nos permite mudar nossa visão de quem somos, onde estamos e o que queremos ser. Brillhante e revolucionário, acessível a qualquer pessoa. Um livro que vai mudar o mundo." The Guardian "Uma tentativa admirável de expandir os horizontes do pensamento econômico." The Financial Times "Um livro radical com sólidos argumentos. Plausível e informativo." El País "Precioso. Pensamento econômico heterodoxo de primeira linha, que

conclama à redistribuição de riqueza e recursos." La Repubblica "Um fascinante aviso a economistas e empresários: deem um passo atrás e analisem nossa economia." Forbes "Economia Donut mostra como assegurar dignidade e prosperidade para todas as pessoas." Huffington Post

[Compre agora e leia](#)

Zygmunt Bauman

AMOR LÍQUIDO

SOBRE A FRAGILIDADE DOS LAÇOS HUMANOS

 ZAHAR

Amor líquido

Bauman, Zygmunt

9788537807712

190 páginas

[Compre agora e leia](#)

Zygmunt Bauman, um dos mais originais e perspicazes sociólogos da história, investiga de que forma nossas relações tornam-se cada vez mais "flexíveis", gerando níveis de insegurança sempre maiores.

A modernidade líquida, "um mundo repleto de sinais confusos, propenso a mudar com rapidez e de forma imprevisível" em que vivemos, traz consigo uma misteriosa fragilidade dos laços humanos, um amor líquido.

A prioridade a relacionamentos em redes, as quais podem ser tecidas ou desmanchadas com igual facilidade - e frequentemente sem que isso envolva nenhum contato além do virtual -, faz com que não saibamos mais manter laços a longo prazo. Mais que uma mera e triste constatação, esse livro é um alerta: não apenas as relações amorosas e os vínculos familiares são afetados, mas também a nossa capacidade de tratar um estranho com humanidade é prejudicada.

Como exemplo, o autor examina a crise na atual política migratória de diversos países da União Europeia e a forma como a sociedade tende a creditar seus medos, sempre crescentes, a estrangeiros e refugiados.

Com sua usual percepção fina e apurada, Bauman busca esclarecer, registrar e apreender de que forma o homem sem vínculos - figura central dos tempos modernos - se conecta.

[Compre agora e leia](#)